



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH ŘÍZENÍ PROCESU HONOVÁNÍ

PROPOSAL FOR PROCESS CONTROL OF THE HONING OPERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adam Gavač

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Adam Gavač**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh řízení procesu honování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza výrobní linky s důrazem na zefektivnění řízení procesu honování. Hlavy válců budou honovány na potřebný rozměr, který je závislý od aktuálního stavu zásob v předešlé operaci – obrábění pístů.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza stávajícího stavu výroby.
2. Inovace výrobního procesu.
3. Diskuse výsledků.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KRÁLIK, J. Robert Bosch GmbH, Bosch v České republice. 2007. 102 stran. Praha: BB Partner, s.r.o.

BAUER, H. Diesel-engine management. 3rd ed., completely rev. and extended. Bury St. Edmunds: Professional Engineering, 2004. ISBN 186-058-435-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Štúdia, ktorá skúma sľubné spojenie princípov štíhlej výroby a nástrojov Priemyslu 4.0 pre riadenie výroby. Význam každého z týchto pojmov bol vysvetlený a vzájomný vzťah bol preskúmaný v teoretickej rovine. Ďalej boli popísané pravidlá, ktoré musia byť rešpektované pri implementácii nástrojov Priemyslu 4.0 do štíhlych výrobných systémov. Následne bol zmapovaný súčasný stav výroby fyzickým sledovaním výrobného procesu, ktorý bol podporený štatistickou analýzou výrobných dát. Vďaka podrobnému zmapovaniu situácie bol nájdený potenciál pre zlepšenie a bol vytvorený návrh riešenia riadenia procesu s využitím tzv. štíhlej automatizácie.

Kľúčové slová

štíhla výroba, riadene výroby, riadenie spotrebou, priemysel 4.0, BPS

ABSTRACT

The study investigates potential of promising combination of Lean principles and Industry 4.0 tools in order to find a solution for control of manufacturing process. Firstly, each of the buzzwords is defined and their relation is explained. Then, rules which will facilitate implementation of I4.0 tools into Lean production are enumerated. Afterwards, situation at the shopfloor is observed and statistical analysis of production data is done to analyze current manufacturing process. Deep investigation revealed strong potential for improvement, which was the motive to elaborate a proposal for Lean automated process control.

Key words

lean, industry 4.0, I4.0, process control, consumption control, BPS

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

GAVAČ, Adam. *Návrh řízení procesu honování*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 86 s. 3 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému **Návrh řízení procesu honování** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

Bc. Adam Gavač

*„We should all strive to improve on the status quo:
none of us should ever be satisfied with what they have achieved,
but should always endeavor to get better.”*

Robert Bosch, 1940

POĎAKOVANIE

Foremost, I would like to express my sincere gratitude to Ing. Marco Morea, head of JhP/BPS department for his continuous support during my internship and subsequent research programme. Under his guidance I was able to grow both personally and professionally. Constant feeling of his trust made me bring out the best of me at every moment of my research.

Úprimná vďaka patrí aj pani Ing. Marcelle Šandovej Ph.D za odborné vedenie práce. Jej cenné rady a pripomienky, ktorými ma počas doby spracovávanía práce držala na správnej ceste k dosiahnutiu stanovených cieľov.

Pánovi doc. Ing. Josefovi Sedlákovi Ph.D. ďakujem za vedomosti, ktoré mi predal počas 3 rokov vzájomnej spolupráce z pozície cvičiaceho, prednášajúceho, skúšajúceho a vedúceho oboch mojich akademických prác.

Podakovanie patrí aj vedúcim pracovníkom, technológom a majstrom oddelenia JhP/MFH, za ich mnohé pripomienky a kritický pohľad.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PREHLÁSENIE	5
POĎAKOVANIE	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 BOSCH DIESEL, S.R.O., JIHLAVA	10
1.1 Výrobný program	11
1.2 Vstrekovací systém Common-Rail	11
1.2.1 Oblasti použitia	11
2 INDUSTRY 4.0 A ŠTÍHLE VÝROBNÉ SYSTÉMY- PARTNERI, ČI RIVALI?	13
2.1 Od výrobného systému firmy Toyota cez Lean po vlastné výrobné systémy	13
2.2 Priemysel 4.0 - definícia pojmu	20
2.3 Prebiehajúce projekty Industry 4.0	23
2.4 Industry 4.0 a štíhle výrobné systémy	25
3 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU	30
3.1 Metodika práce	30
3.2 Úsek obrábania hláv pre čerpadlo CP4	30
3.3 Pracovisko triedenia piestov pre čerpadlo CP4	32
3.4 Úsek montáže hláv pre čerpadlo CP4 (Predmontáž)	32
3.5 Riadenie výroby na úseku obrábania hláv	33
3.6 Štatistická analýza	35
3.6.1 Test hypotézy 1	36
3.6.2 Test hypotézy 2	43
3.6.3 Test hypotézy 3	44
3.6.4 Test hypotézy 4	44
3.6.5 Test hypotézy 5	48
3.6.6 Test hypotézy 6	49
3.6.7 Test hypotézy 7	54
3.7 Zhodnotenie súčasného stavu výroby	58
4 INOVÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU	62
4.1 Automatická inventúra piestov	62
4.2 Pridanie informácie o strednej hodnote na čip paletky s piestami	63
4.3 Zmena metódy párovania piestov a hláv na montážnej linke	63
4.4 Stanovenie potrebných zásob piestov a určenie reakčných limitov	63

4.5	Zosúladenie hodnôt nameraných na stanici Kadia s hodnotami nameranými na staniciach Stotz.....	71
4.6	Zefektívnenie komunikácie medzi úsekom obrábania hláv a montážou hláv	74
5	DISKUSIA	76
	ZÁVER	79
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	80
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	83
	ZOZNAM PRÍLOH	86

ÚVOD

Priemysel 4.0 a jeho americký ekvivalent Industrial Internet of Things je pojem, ktorý v súčasnej dobe mení povahu priemyslu, energetiky, obchodu, logistiky a ďalších častí hospodárstva. Pojem sa stal hlavnou témou uplynulých dvoch ročníkov Medzinárodného strojárského veľtrhu, ktorý je tradične organizovaný v Brne. V septembri roku 2016 bol vydaný viac ako 200 stranový dokument napísaný kolektívom autorov združených okolo prof. Vladimíra Maříka s názvom Národní iniciativa Průmysl 4.0, ktorý upozorňuje na nástup 4. priemyselnej revolúcie.

Očakáva sa, že spoločnosť Bosch obsadí v rámci svetovej iniciatívy jednu z vedúcich pozícií, pričom bude vystupovať ako užívateľ a súčasne ako poskytovateľ služieb a nástrojov Priemyslu 4.0.

Jedným z cieľov tejto práce bolo preskúmať vzájomné prepojenie vízií Priemyslu 4.0 s víziami štíhlych výrobných systémov, ktoré sú v súčasnosti najbežnejšou formou riadenia podniku v oblasti automotive. Štúdia vznikla v spolupráci s oddelením JhP/BPS, ktorého poslaním je rozvoj štíhleho výrobného systému firmy Bosch v rámci závodu v Jihlave. Preto je možné tvrdiť, že práca vznikala v ideálnom prostredí pre posúdenie vzájomného vzťahu Priemyslu 4.0 a štíhlych výrobných systémov.

V druhej časti práce bola riešená situácia na konkrétnom výrobnom úseku v rámci jihlavského závodu vo výrobe hláv pre čerpadlo CP4. Tento výrobný úsek bol vybraný cielene, nakoľko súčasný spôsob riadenia výroby nebol dostatočne vyspelý na to, aby sa vysporiadal so širokým spektrom vyrábaných produktov. V súčasnosti je na úseku vyrábaných až 64 rôznych typov hláv, ktoré vznikajú kombináciou 24 typov obrábaných polotovarov a 9 typov piestov.

1 BOSCH DIESEL, S.R.O., JIHLAVA

Prvý novodobý kontakt spoločnosti Robert Bosch s podnikom sídlacím v Jihlave nesie dátum 2. októbra 1992. V tento deň bola podpísaná zmluva o joint venture s národným podnikom Motorpal. Motorpal sa špecializoval na výrobu vstrekovacích zariadení pre vznetové motory. Sortiment tvorili vstrekovacie súpravy s vlastným pohonom pre viacúčelové úžitkové vozidlá, traktory a stacionárne motory, jednovalcové vstrekovacie čerpadlá bez vlastného pohonu pre lodné motory, koľajové vozidlá, elektrocentrály a stacionárne motory. Vyrábaný sortiment sa od založenia podniku v roku 1946 prakticky nemenil. Po nadviazaní kontaktov s nemeckou spoločnosťou a založení podniku Bosch Diesel 4. januára 1993 začal vznikať obdivuhodný projekt. Prvou úlohou bolo postaviť halu na Humpoleckej- závod I. Tým sa v Jihlave začali písať novodobé dejiny výroby systému vstrekovania pre vznetové motory. Ešte pred koncom roku 1993 bolo v tomto závode vyrobené prvé jednovalcové čerpadlo PF33 pre západoeurópsky trh. Od 1. októbra 1996 sa stal Bosch Diesel stopercentným majiteľom spoločnosti, keď od Motorpalu odkúpil jeho podiel [1].

S novou technológiou vstrekovania paliva Common-Rail pre vznetové motory sa výrazne zmenili perspektívy jihlavského závodu. Jednotlivé komponenty pre tento systém vstrekovania sa v Jihlave vyrábajú od roku 1999 a dnes závod patrí k jeho najväčším svetovým výrobcom. Výroba systému sa začala v prenajatých priestoroch bývalej továrne Alfatex, ktorá je dnes označovaná ako závod II. Po nutných úpravách priestorov sa tu začali opracovávať zápusťkové výkvyky kované za tepla pre tlakové zásobníky systému Common-Rail. V roku 2001 Bosch Diesel objekt kúpil a rozšíril sortiment o tlakové regulačné ventily. Od roku 2005 sa v tomto závode začali zásobníky vyrábať paralelne technológiou laserového zvarovania. V tomto prípade je polotovarom valcovaná tyč, na ktorú sú po opracovaní jednotlivé komponenty navarené odporovo alebo pomocou koncentrovaného laserového zväzku [2].

V roku 2001 bola dokončená výstavba závodu III v Pávove, kde bola 22. marca spustená prvá z troch montážnych liniek pre výrobu vysokotlakých čerpadiel CP3. Za tri roky bolo vyrobených úctyhodných 5 000 000 čerpadiel. Navyše čerpadlo CP3 od roku 2004 už nebolo jediným vyrábaným produktom závodu III, pretože v tomto roku bola zahájená aj montáž novej generácie čerpadiel CP1H. Dopyt po systémoch vstrekovania neustále rástol a 21. októbra 2004 bola otvorená v rámci závodu III ďalšia výrobná hala.

Za 22 rokov pôsobenia spoločnosti v Jihlave sa firma Bosch Diesel s.r.o. rozrástla do celosvetovo najväčšieho výrobného závodu skupiny Bosch na výrobu vysokotlakých dieselových čerpadiel a tlakových zásobníkov. V súčasnosti je v Jihlave päť výrobných hál s celkovou plochou 156 000 m², v ktorých je zamestnaných 4500 zamestnancov. Od svojho založenia Bosch investoval v Jihlave viac ako 880 miliónov eur a jeho zisk v roku 2015 činil 596,2 miliónov korún [3]. 14. decembra 2015 získala firma pri príležitosti udeľovania cien renomovanej súťaže „Exportér roku 2015“ prvé miesto v kategórii „Exportér s najväčším objemom exportu 2014- Kraj Vysočina“, piate miesto v kategórii „Objem exportu 2014“ a šieste miesto v kategórii „Objem exportu 1993 - 2014“. Takisto získala ocenenie za prínos firmy Bosch pre český priemysel.

1.1 Výrobný program

V súčasnosti je v troch výrobných závodoch vyrábaný široký sortiment komponentov pre dieselové vstrekovacie systémy. Medzi hlavné výrobky patria dieselové vysokotlaké vstrekovacie čerpadlá, vysokotlaké zásobníky a tlakové regulačné ventily.

V prvom a najstaršom závode na ulici Humpolecká sa od októbra roku 2016 rozbieha nová sériová výroba vstrekovačov paliva do valca motoru (CRI- Common-Rail Injector). Väčšia časť výrobného priestoru je však vyhradená pre chystanú výrobu systému pre spätné vedenie paliva (FRL- Fuel Return Line). Ten bude údajne vyrábaný až na 18 výrobných linkách, pričom predpokladaný štart sériovej výroby je v januári 2017 [3].

V závode II- Dolina sú od samého počiatku až dodnes vyrábané tlakové zásobníky paliva, tzv. raily. Väčšina z nich je v súčasnosti vyrábaná opracovaním zápuškového výkovku, ktorý nesie označenie HFR (Hot Forged Rail), menší objem technológiou zvarovania laserovým lúčom, označovaný skratkou LWR (Laser Welded Rail). Ďalším produktom je regulačný ventil tlaku, ktorý sa vyrába hneď v troch variantách s označením DRV1, DRV2 a DRV3 (Druck Bergrenzung Ventil).

Tretí závod je najmladší a prebieha tu výroba dieselových vysokotlakých čerpadiel. Hlavným produktom je vysokotlaké čerpadlo s označením CP4 (Common-Rail Pump), ktorého výroba sa začala v roku 2008 a vyrába sa vo variante s jednou hlavou (CP4.1) a dvoma hlavami (CP4.2). Vyrábaný sortiment dotvára čerpadlo CPN5 a dnes už výbehový produkt čerpadlo CP3.

1.2 Vstrekovací systém Common-Rail

Vznetové motory sa stali jedným z hlavných spôsobov pohonu nákladných automobilov, lokomotív a lodí. Ich rastúca popularita so sebou prináša aj neustále sa sprísňujúce emisné limity, ktoré musí táto technológia spĺňať. Čoraz vyššie požiadavky kladené na dieselové motory nútia ich vývojárov s každou novou generáciou navyšovať pracovné tlaky, skracovať dobu spínania a zamýšľať sa nad tým, ako vstrekovanie prispôbiť aktuálnym pracovným podmienkam motora. Vďaka neustálemu vývoju sa dieselové motory stávajú čoraz výkonnejšími, ekologickejšími a ekonomicky výhodnejšími. Navyše dochádza k čoraz väčšej integrácii vstrekovacieho systému do celkového systému vozidla, vďaka čomu už dieselové motory dávno nie sú len doménou nákladných vozidiel. Postupne si našli svoju cestu aj pod kapoty mnohých osobných automobilov [4].

Jedným z najvyspelejších systémov pre vstrekovanie paliva je systém s tlakovým zásobníkom známy pod obchodným názvom Common-Rail, vyrábaný firmou Bosch Diesel. Jeho prednosťou je možnosť zmeny tlaku pri vstrekovaní v širokej škále ako aj schopnosť veľmi presného načasovania vstreknutia paliva. Toto je možné vďaka oddelenému procesu tlakovania paliva a jeho následného vstrekovania.

1.2.1 Oblasti použitia

Vstrekovací systém s tlakovým zásobníkom Common-Rail určený pre dieselové motory s priamym vstrekovaním je používaný v rôznych typoch prepravných prostriedkov.

Medzi ne patria napr. [4]:

- *automobily* ekonomickej triedy s trojvalcovým, 0.8 litrovým motorom s výkonom do 30 kW, krútiacim momentom 100 Nm a spotrebou 3.5 litra na 100 km jazdy, až

po luxusné sedany s osemvalcovým, 3.9 litrovým motorom s výkonom 180 kW a krútiacim momentom 560 Nm,

- *ľahké pracovné vozidlá* s výkonom do 30 kW na jeden valec,
- *ťažké nákladné vozidlá, lokomotívy a lode* s motormi schopnými dosiahnuť výkon až 200 kW na jeden valec.

Systém Common-Rail v porovnaní s bežným systémom využívajúcim vačkovú hriadeľ rozširuje možnosti vývoja motorov vďaka svojej

- širokej oblasti použitia,
- vysokému tlaku vstrekovania (až do 2500 bar),
- možnosti presného načasovania vstreknutia,
- možnosti využitia viacerých dodatočných vstreknutí pred a po hlavnom vstreknutí (je možné aj veľmi spomalené dodatočné vstreknutie paliva),
- možnosti meniť tlak vstrekovania (od 230 do 2500 bar) v závislosti na pracovných podmienkach motora.

Vďaka systému Common-Rail je možné zvýšiť merný výkon motora a súčasne znížiť spotrebu paliva, hluk a množstvo výfukových plynov.

2 INDUSTRY 4.0 A ŠTÍHLE VÝROBNÉ SYSTÉMY- PARTNERI, ČI RIVALI?

...

DOMIN: Počkejte. [...] Výroba má být co nejjednodušší a výrobek prakticky nejlepší. Co myslíte, jaký dělník je prakticky nejlepší?

HELENA: Nejlepší? Snad ten, který- který- když je poctivý- a oddaný.

DOMIN: Ne, ale ten nejlacinější. Ten, který má nejmenší potřeb. Mladý Rossum vynalezl dělníka s nejmenším počtem potřeb. Musel ho zjednodušit. Vyhodil všechno, co neslouží přímo práci. Tím vlastně vyhodil člověka a udělal Robota. Drahá slečno Gloryová, Roboti nejsou lidé. Jsou mechanicky dokonalejší než my, mají úžasnou rozumovou inteligenci, ale nemají duši. Ó slečno Gloryová, výrobek inženýra je technicky vytrěbenější než výrobek přírody.

HELENA: Říká se, že člověk je výrobek boží.

DOMIN: Tím hůř. Bůh neměl ani ponětí o moderní technice. Věřila byste, že si nebožtík mladý Rossum zahrál na boha?

...

Karel Čapek, R.U.R., 1920

V svetoznámej vedeckofantastickej divadelnej hre R.U.R. jeden z najvýznamnejších českých autorov Karel Čapek varuje ľudstvo pred rýchlym technickým rozvojom a jeho negatívnymi dôsledkami. Jeho dielo vzniklo na pozadí odlišného technologického a spoločenského kontextu, ale obavy v diele vyjadrené sú dnes aktuálne viac ako kedykoľvek pred tým. Ľudstvo vstúpilo do éry intenzívneho rozvoja umelej inteligencie, autonómneho riadenia ako aj masívnej digitalizácie výrobných a logistických procesov. Tempo, akým nové technológie vznikajú a stávajú sa súčasťou každodenného života nebolo nikdy rýchlejšie, z čoho prirodzene plynie dôležitá otázka: Akú úlohu bude v takejto spoločnosti mať človek? Nájde si svoje miesto vo výrobnom systéme budúcnosti, alebo bude nahradený mechanicky dokonalejším zariadením schopným riešiť problémy lepšie, lacnejšie a rýchlejšie na základe analýzy výrobných dát? Touto otázkou, ako aj ekonomickým a spoločenským dopadom hnutia Industry 4.0 sa podrobne zaoberá kolektív autorov pod vedením prof. V. Maříka v dokumente Národní iniciativa průmysl 4.0 [5]. V následujících řádkoch bude pojednávané o postavení Industry 4.0 v štíhlom výrobnom systéme, ktorý v súčasnosti využíva väčšina výrobcov automobilov [6]. Centrálnym prvkom týchto systémov je filozofia Kaizen, ktorá usiluje o rozvoj schopností zamestnancov závodu a následnú podporu ich zlepšovacích návrhov s cieľom dosiahnuť neustáleho rozvoja výrobných procesov [7]. Človek je teda jadrom štíhleho výrobného systému. Na prvý pohľad sa preto môže zdať, že myšlienky prezentované hnutím Industry 4.0 sú v rozpore s myšlienkami ukotvenými v štíhlych výrobných systémoch. Je to ale naozaj tak?

2.1 Od výrobného systému firmy Toyota cez Lean po vlastné výrobné systémy

V 50. rokoch 20. storočia bol pod vedením japonského manažéra firmy Toyota- Taichi Ohna vytvorený nový systém riadenia výrobného podniku, ktorý synchronne využíva viacero metód a princípov s cieľom dosiahnuť výrobu Just-in-Time bez strát [6]. Systém vznikol krátko po 2. svetovej vojne v prostredí s obmedzenými zdrojmi a nepriaznivými

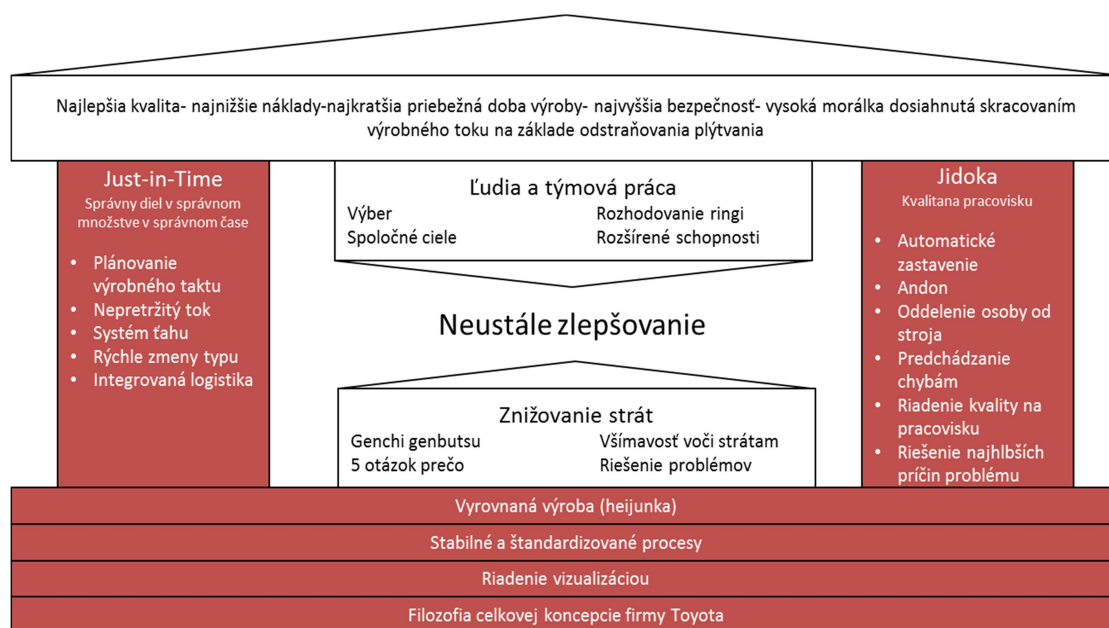
podmienkami pre rozvoj priemyslu. Napriek nepriaznivým vplyvom sa firme podarilo vybudovať vlastný výrobný systém, dnes známy pod skratkou TPS (Toyota Production System). Narozdiel od Taylorizmu, systému ktorý bol v danom období populárny v USA a ktorý usiloval o vytvorenie univerzálnej komplexnej výrobnej teórie založenej na vedeckom skúmaní, je TPS založený na pozornom sledovaní vlastného výrobného procesu s následným vyhodnotením aktuálnej situácie [6]. TPS sa osvedčil na prelome 20. a 21. storočia, kedy najväčšie americké automobilky zažívali krízu a mnohé z nich hľadali príležitosti pre zatvorenie svojich závodov, pre znižovanie kapacít a k presunu výroby do zahraničia [8]. V tom istom čase Toyota rozširovala svoj trh, otvárala nové výrobné závody priamo na americkom kontinente a každoročne navyšovala svoj zisk. S prosperitou japonského výrobcu rástlo aj povedomie o TPS. V roku 1990 bola v USA vydaná prvá publikácia, v ktorej autori Womack, Jones a Roos vysvetľujú techniky využívané v TPS [9]. Tieto techniky označili ako „Lean“, pojem ktorý sa ustálil a je veľmi často skloňovaný aj v našich končinách (pozn. v slovenskej literatúre je možné nájsť aj preložené pojmy „štíhla výroba“, „štíhly manažment“ apod.). Následne boli vydané mnohé ďalšie publikácie, v ktorých sa autori snažia vytvoriť ucelenú teóriu o štíhlym riadení výrobných, ale aj nevýrobných podnikov. Medzi najväčšie autority v tejto oblasti sa radí Liker (2004) [8], ktorý vo svojej publikácii popisuje 14 zásad šíhleho riadenia podniku, Womack a Jones (2003) [10], ktorí vo svojej druhej prelomovej publikácii popisujú typy strát, ktoré sa vyskytujú vo výrobných závodoch a vysvetľujú metódy ich hľadania a odstraňovania. Takisto je nutné spomenúť autorov Rother a Shook (2003), ktorí popisali techniky mapovania výrobných procesov [11], ako aj Shah, Ward [12], ktorí skúmali faktory ovplyvňujúce úspech zavedenia štíhlej výroby. Princípy štíhlej výroby boli krátko po vydaní prvých publikácií prijaté mnohými západnými automobilkami, ktoré si vytvorili vlastné výrobné systémy postavené na základoch štíhlej výroby a princípoch TPS. Ako príklad je možné uviesť systém jedného z najväčších amerických výrobcov automobilov General Motors GMS (Global Manufacturing System), ako aj systémy európskych spoločností Audi- APS (Audi Production System), Scania- SPS (Scania Production System), alebo Volvo- VPS (Volvo Production System). Neskôr sa ku nim pridali aj ich dodávatelia a vznikli desiatky ďalších systémov ako napr. BPS (Bosch Production System), GPS (Gestamp Production System) apod. V súčasnosti vo svete existuje viac ako 100 výrobných systémov, ktoré sú postavené na princípoch ukotvených v TPS a ktoré majú mnohé spoločné znaky. Niektoré firmy doplnili svoj špecifický výrobný systém o nové princípy, ktoré v TPS obsiahnuté nie sú, ide však skôr o výnimku ako o pravidlo [13].

Štíhle výrobné systémy sú založené na princípoch, ktoré Womack a Jones popisali vo svojich publikáciách [9; 10] a súhrnne ich pomenovali Lean. Autori vymedzili štíhlu výrobu ako proces pozostávajúci z piatich krokov:

- určenie hodnoty pre zákazníka,
- určenie hodnotového toku,
- dosiahnutie toho, aby proces „prúdil“,
- vytvorenie ťahu od zákazníka,
- snaha o dosiahnutie podnikovej excelencie.

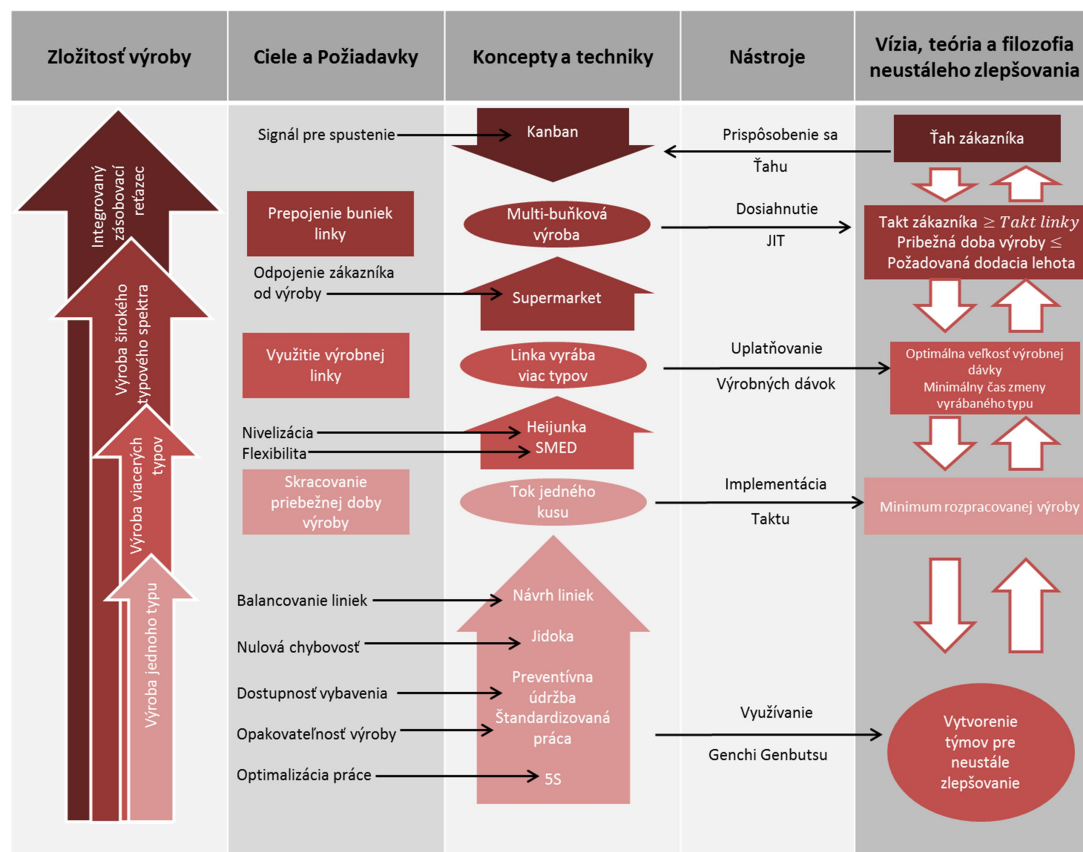
Následne túto myšlienku doplnil Liker, ktorý konštatuje, že byť štíhlym výrobcom vyžaduje taký spôsob myslenia, ktorý je zameraný na zabezpečenie nepretržitého toku výrobku procesom pridávania hodnoty (jednokusový tok), na systém ťahu, ktorý pôsobí od

dopytu zákazníka proti pohybu výrobku celým výrobným procesom tak, že sa v krátkych intervaloch doplňuje len to, čo odoberá nasledujúca činnosť a na kultúru, v ktorej sa každý usiluje o zlepšenie [8]. Princípy štíhlej výroby Liker zhrnul do známeho dvojpilierového modelu, ktorý je uvedený na obr. 2.1. Model prevzalo mnoho ďalších autorov, pretože je prehľadný a správne upozorňuje na fakt, že výrobný systém je len tak silný, ako jeho najslabší článok a teda zanedbanie akéhokoľvek z uvedených princípov automaticky ohrozuje stabilitu celého výrobného systému. Výrazným nedostatkom schémy však je, že nezohľadňuje dynamickosť výrobného procesu a vzájomné väzby medzi jednotlivými princípmi v nej niesú na prvý pohľad viditeľné.



Obr. 2.1 Dvojpilierová schéma systému výroby firmy Toyota [8].

Vhodnejšiu schému vytvorili Rüttimann a Stöckli [14], ktorá je na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Jednopiliérová schéma systému výroby firmy Toyota (upravené) [14].

Veľkým prínosom tejto schémy je, že v nej autori zachytili dynamickosť výrobných procesov a vzájomnú previazanosť štíhlych techník. Takýto postup lepšie popisuje spôsob, akým štíhly výrobný systém v skutočnosti vzniká- krok po kroku v krátkych cykloch vedúcich k drobným zlepšeniam. Spoločnosť Toyota trvalo desaťky rokov, kým malými krokmi vytvorila špecifickú a do dnešného dňa neprekonanú teóriu výroby. Tá pozostáva z viacerých techník, ktoré sa viažu na jednokusový tok a ktoré umožňujú masovú produkciu širokého typového spektra výrobkov bez strát orientovaných na bezchybnú kvalitu.

Za týmto účelom bolo na prvom mieste potrebné vytvoriť spoľahlivý tok jedného kusu, ktorý je možné udržať len v prípade, že sú splnené viaceré predpoklady [14]:

- Všetky pracovné úkony musia byť štandardizované a optimalizované (5S). Štandardizovaná práca umožňuje určiť výrobný takt každého pracoviska výrobných liniek a linku “vytaktovať”, teda dosiahnuť stavu, kedy

$$CT_L = CT_1 \approx CT_2 \approx \dots \approx CT_n$$

Kde CT_L je takt výrobných liniek,

CT_1 až CT_n je takt jednotlivých pracovísk výrobných liniek.

V prípade, že tento predpoklad nieje splnený, dochádza k hromadeniu materiálu pred pracoviskom s najvyšším taktom a tok materiálu je v tomto bode prerušený.

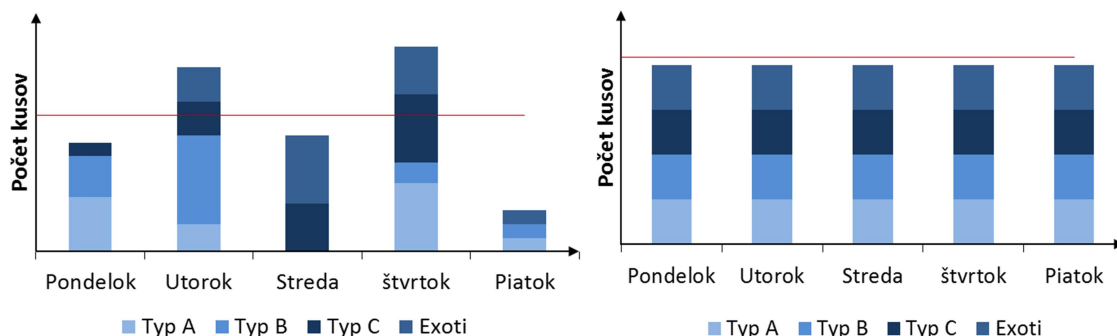
- Stroje musia byť dostupné v každom momente, nakoľko neplánované technické, organizačné, kvalitatívne, či výkonové výpadky strojov spôsobujú hromadenie kusov pred odstaveným zariadením a narúšajú plynulý tok materiálu výrobnou linkou. Za týmto účelom štíhle výrobné systémy zavádzajú Totálnu produktívnu údržbu TPM (Total Productive Maintenance).
- Musí byť zabezpečená bezchybná kvalita výrobkov, ktoré putujú výrobnou linkou (Jidoka). Pre elimináciu chýb spôsobených ľudským zavinením sú do štíhlych výrobných liniek často implementované tzv. Poka-yoke prvky. Môžu to byť prípravky, ktoré zabráňujú nesprávnemu vloženiu polotovaru do obrábacieho stroja, využívanie závitov s rozidelným stúpaním, ktoré zabráňujú nesprávnemu zmontovaniu, či používanie rôznych tvarových drážok, ktoré obsluhu montážnej stanice navádzajú k správne zmontovaniu výrobku. Ďalším využívaným prvkom je systém Andon, ktorý upozorňuje na kvalitatívne výpadky výrobné linky zapríčinené akýmkoľvek činiteľom. Po spustení signálu Andon sa celý tím poverených pracovníkov zhromažďuje v mieste vzniku kvalitatívneho výpadku (čo je v súlade s filozofiou Genchi-Genbutsu) a spoločne hľadajú jeho koreňovú príčinu. Až po zistení príčiny je výroba na danej linke opätovne spustená.

Jednokusový tok v podmienkach, aké vytvára dnešný trh však ešte nieje zárukou Just-in-Time výroby. Ostatne samotná myšlienka jednodukového toku nebola vytvorená Toyotou, ale bola do veľkej miery využívaná aj pri výrobe automobilov Ford v prostredí prekvitajúceho Taylorizmu. Samotný jednodukový tok bez ďalšej nadstavby môže fungovať pri masovej výrobe jediného typu výrobku, teda v tržnom prostredí, kedy sám dodávateľ určuje, aký produkt si zákazník kúpi.

Štíhle výrobné systémy musia byť naopak pripravené vyrábať širokého typové spektrum na základe individuálnych požiadavok svojich zákazníkov. Preto sú v štíhlych výrobných závodoch využívané pružné obrábacie stroje a montážne linky, ktoré umožňujú extrémne rýchly nábeh na odlišný typ výrobku. S nutnosťou rýchlej zmeny vyrábaného typu sa počíta už v štádiu návrhu výrobkov, kedy je kladený dôraz na tvarovú typizáciu a technologickú simplifikáciu. Pokiaľ sú výrobné linky a samotné produkty usporiadané rýchlym zmenám typu, je možné štandardizáciou a následnou optimalizáciou pracovných úkonov pri prestavovaní linky (technika SMED) eliminovať všetky straty spôsobené častými zmenami vyrábaného typu. Po takejto úprave sú linky pripravené vyrábať stabilné množstvo výrobkov v rovnomernom typovom mixe [14].

Dopyt zákazníka je však spravidla nestabilný, preto je nutné výrobu podporiť nivelizáciou. Tá výrobnú linku odpája od dopytu zákazníka a prináša vyrovnanie, zrovnomenenie a vyhladenie výroby. Pomocou Heijunky, teda plánovacej tabule, je stanovený typový mix, ktorý musí byť v každom časovom intervale (obvyčajne je to jeden výrobný deň) vyprodukovaný, aby boli z dlhodobého hľadiska uspokojené všetky potreby zákazníka a to bez využívania nadčasov. Heijunka je naplnená na základe dlhodobej predpovede dopytu, ktorá je korigovaná koeficientom stability predpovede a výrobu jednotlivých typov rovnomerne rozprestiera na celé plánované obdobie. Každý výrobný deň je rozčlenený na viaceré kratšie časové úseky, v ktorých je vyrábaný vždy jeden typ výrobku. Rennery, teda výrobky ktoré tvoria 80% dopytu sú pravidelne vyrábané v stanovenom časovom úseku. Exoty, teda výrobky ktoré tvoria zvyšných 20% dopytu sú plánované operatívne, ale

takisto majú v rámci výrobného dňa vymedzený časový úsek, do ktorého sú zaplánované. Efekt, ktorý nivelizovaná výroba prináša, je na obr. 2.3. Z obrázku je vidno, že implementácia nivelizovanej výroby okrem stabilizácie výroby prispieva k efektívnemu využitiu výrobných liniek a vytváraní štandardizácie v plánovaní [15].



Obr. 2.3 Efekt nivelizovanej výroby na stabilitu výrobného procesu [15].

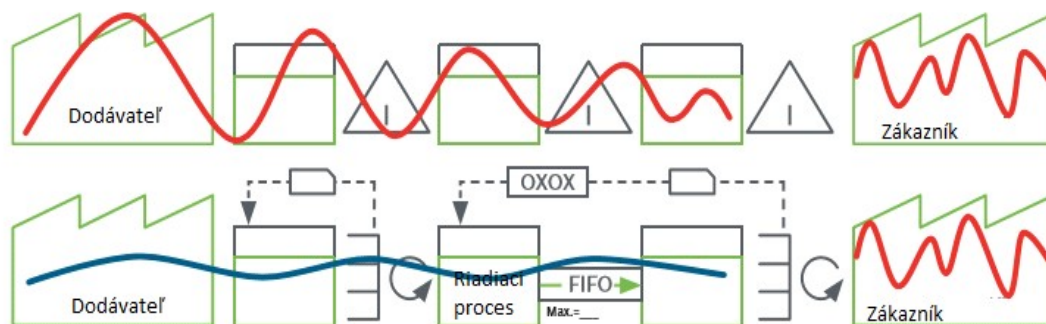
Vzhľadom na to, že Heijunka chráni výrobný proces od extrémnych výkyvov v dopyte, je tento spôsob riadenia opodstatnený len na výrobnom úseku, ktorý je priamo napojený na externého zákazníka. Týmto úsekom je zvyčajne koncová montáž.

Aby bol tok materiálu zachovaný aj v prípade výroby širokého typového spektra, musia výrobné úseky priamo napojené na koncovú montáž byť schopné zabezpečiť dostatočný počet komponentov. V opačnom prípade by došlo k zastaveniu montážnej linky a k nedodaniu požadovaných kusov zákazníkovi. Obrábacie procesy, či procesy tepelného spracovania sa však spravidla vyznačujú dlhšími výrobnými taktami a preto ich nieje možné na montážne linky napojiť priamo. Situáciu riešia tzv. supermarkety- riadené zásoby s definovaným maximom a minimom vytvorené medzi výrobnými úsekmi s výrazne odlišným výrobným taktom, alebo odlišným smenovým modelom. Prepojením pracovísk s približne rovnakým taktom priamo (dráhou FIFO) a umiestnením supermarketov medzi pracoviská, ktorých takt je výrazne odlišný je vo výrobe zabezpečený plynulý tok materiálu od dodávateľa až ku koncovému zákazníkovi [16].

Posledným nedostatkom doposiaľ popísaného výrobného systému je, že postráda akýkoľvek tok informácií. Aby sa komponenty potrebné pre zmontovanie finálneho výrobku dostali v správny čas v požadovanom množstve na pracovisko montáže je potrebné zabezpečiť nepretržitý tok informácií proti prúdu materiálu, tzn. od úseku koncovej montáže, ktorá je riadená pomocou Heijunky až po dodávateľov vstupného materiálu. Pre vytvorenie toku informácií bol vytvorený systém Kanban- po odobraní množstva materiálu zo supermarketu predchádzajúceho procesu je odoslaný jednoznačný signál pre dovyrobenie rovnakého množstva na začiatok výrobného úseku. Najvyužívanejším signálom je v súčasnosti kanbanová karta, ktorú zásobovač (Milkrun) po odobraní kusov zo supermarketu vkladá do zberných boxov umiestnených na začiatku výrobného procesu. Naplnenie zberného boxu stanoveným počtom kanbanových kariet (ktorý zodpovedá výrobnej dávke), je jasným signálom pre zmenu vyrábaného typu. Využitím tohto systému sa decentralizuje systém riadenia výroby, keďže je na základe plánu riadený len jeden výrobný úsek- konečná montáž. Výroba na ostatných úsekoch sa odvíja od spotreby konečnej montáže a je riadená priamo pracovníkmi výroby, ktorí

funkčnosť riadenia zabezpečujú dodržiavaním štandardu. Jedná sa o tzv. ľudskú automatizáciu, čo je takisto jeden zo základných princípov štíhlej výroby. Systém Kanban teda zabezpečuje nepretržitý tok informácií, ako aj cyklické zásobovanie všetkých výrobných úsekov [16].

Využitím všetkých spomínaných techník je možné dosiahnuť nepretržitého toku výrobkov od dodávateľa ku koncovému zákazníkovi a zároveň toku informácií v opačnom smere. *“Požadované výrobky sú dodané v požadovanej kvalite a množstve na požadované miesto v požadovaný čas bez strát”* [14]. Cieľ štíhlych výrobných systémov je teda naplnený. Obr. 2.4 znázorňuje hodnotový tok pred použitím nástrojov štíhlej výroby a hodnotový tok po ich zavedení.



Obr. 2.4 Hodnotový tok pred a po implementácii nástrojov štíhlej výroby [15].

TPS sa však neobmedzuje len na výrobné procesy, obsahuje aj viacero techník, ktoré spejú k rozvoju pracovníkov (ako vedúcich, tak výrobných) a následnému využívaniu ich znalostí pre zabezpečenie neustáleho zlepšovania procesov. Typické je vytváranie špecializovaných skupín pracovníkov, ktorí počas každodenných vizít hľadajú potenciál pre zlepšenie. Jedným z najdôležitejších aspektov TPS je nahradzovanie ťažko uchopiteľných vízií jednoduchými technikami a nástrojmi, ktoré sú schopní využívať všetci zamestnanci spoločnosti. Tí následne svojim chovaním drobným dielom prispievajú k naplneniu zložitej a často vzdialenej vízie. Vďaka tomu ťahajú všetci zamestnanci za rovnaký koniec povrazu a spoločne smerujú k spoločným cieľom, ktoré sú odvodené priamo z firemnej stratégie spoločnosti. V prípade korporácie Bosch sú to [17]:

- princíp ťahu - vyrábame a dodávame len to, čo zákazník žiada,
- vyvarovanie sa chybám- Využívame preventívne prostriedky aby sme sa vyhli pochybeniu s cieľom dodávať bezchybné výrobky,
- orientácia na proces- ctíme rozvoj a optimalizáciu našich procesov,
- flexibilita- pohotovo prispôbujeme naše výrobky a služby aktuálnym požiadavkom zákazníka,
- štandardizácia- štandardizujeme naše procesy a implementujeme best-in-class riešenia,
- transparentnosť- podnikové procesy a priebeh výroby sú jasné na prvý pohľad, odchýlky od nadefinovaného stavu sú okamžite viditeľné,

- neustále zlepšovanie- rozvíjame sa kontinuálne a cielene,
- vlastná zodpovednosť- každý z nás pozná svoje úlohy a kompetencie, za ktoré sám zodpovedá a využíva ich aktívne a nezávisle.

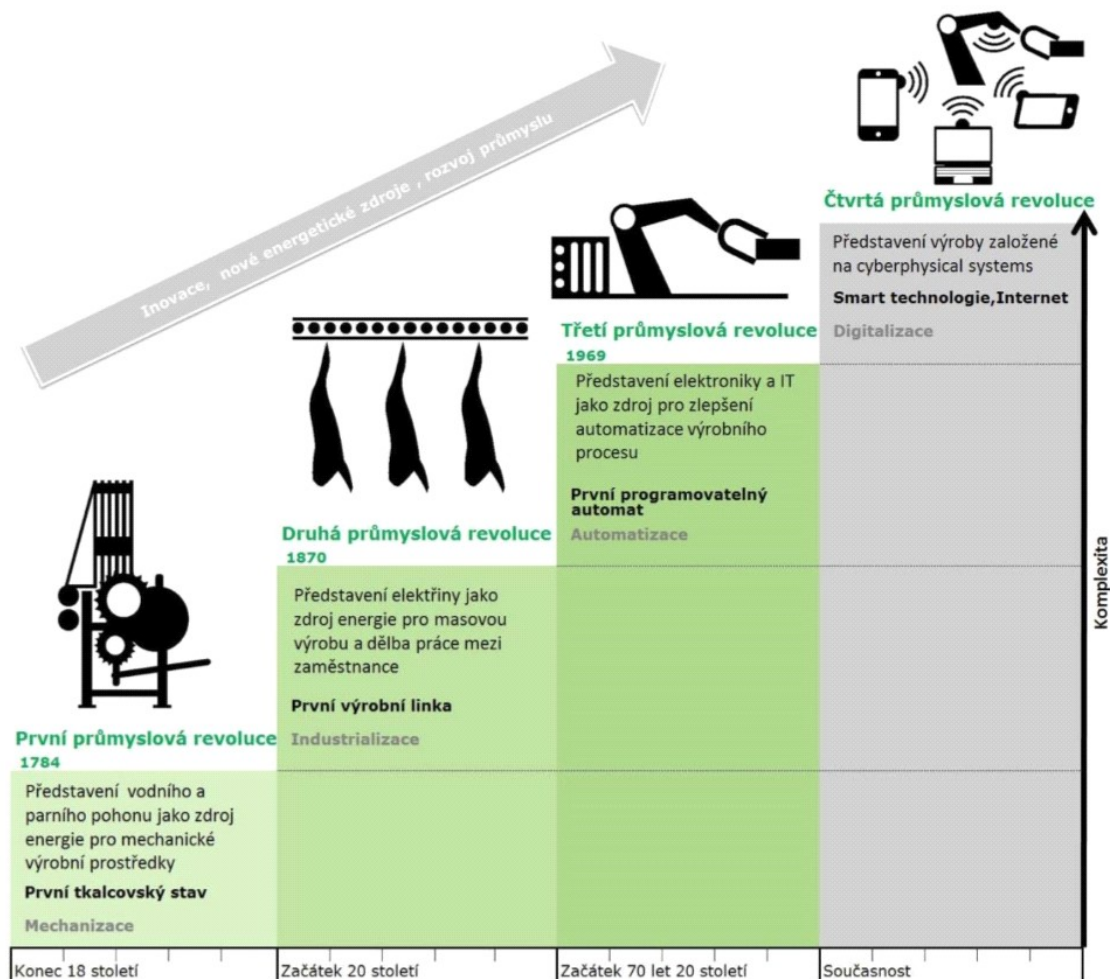
2.2 Priemysel 4.0 - definícia pojmu

Pojem Priemysel 4.0 bol prevzatý z nemeckého výrazu Industrie 4.0 a prvý krát sa objavil v roku 2011 na výstave v meste Hannover [18]. Vytvorený bol výskumnou skupinou, ktorá sa zaoberá rozvojom vízie priemyselného prostredia budúcnosti ovplyvneného využitím internetu. Vedúcimi skupiny sú prof. Dr. Henning Kagermann, prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahster a prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas. Táto skupina bola vytvorená na požiadavku ministerstva vzdelávania a výskumu Nemeckej spolkovej republiky [19].

Pojem bol vytvorený, aby upozornil na príchod štvrtej priemyselnej revolúcie, ktorú má spustiť masívne využívanie internetu v priemysle. Členovia skupiny toto číslovanie zvolili, nakoľko sa domnievajú, že prvá priemyselná revolúcia bola spustená objavom parného stroja, ktorý umožnil rozmach výrobných zariadení poháňaných parou, druhá objavom elektriny, ktorá umožnila hromadnú výrobu, tretia objavom počítača, ktorý umožnil integráciu počítačom podporovaných systémov do všetkých etáp výroby a vytvoril priestor pre vznik tzv. počítačom zjednotenej výroby (Computer Integrated Manufacturing-CIM) a nakoniec štvrtá priemyselná revolúcia, spustená využitím internetu vo všetkých oblastiach priemyselnej výroby umožňujúca real-time komunikáciu stroj-stroj, človek-stroj, človek-človek [5]. Tento vývoj znázorňuje obr. 2.5. Označenie sa ustálilo medzi expertmi z priemyslu ako aj akademikmi zaoberajúcimi sa problematikou Priemyslu 4.0 napriek tomu, že väčšina z nich zastáva názor, že cesta k vízii nebude mať charakter revolúcie, ale evolúcie. Títo autori totiž hovoria o posune po drobných krokoch, ktoré bude možné chápať ako nadstavbu CIM [19].

Priemysel 4.0 je do dnešného dňa pojem značne široký a jeho presná definícia doposiaľ ustálená nebola. Dokument Iniciatíva Průmysl 4.0 pojem popisuje ako transformáciu výroby od samostatných automatizovaných jednotiek na plne integrované automatizované a priebežne optimalizované výrobné prostredie. Toho je dosiahnuté vytvorením nových globálnych sietí založených na prepojení výrobných zariadení do kyberneticko-fyzikálnych systémov CPS (Cyber-Physical Systems). CPS sú základným stavebným prvkom „inteligentných tovární” a sú schopné autonómnej výmeny informácií, vyvolávania potrebných akcií v reakcii na momentálne podmienky a vzájomnej nezávislej kontroly. Senzory, stroje, diely a IT systémy sú vzájomne prepojené v rámci hodnotového reťazca presahujúceho hranice jednotlivých firiem. Takto prepojené CPS môžu pomocou štandardizovaných komunikačných protokolov na bázi internetu vzájomne reagovať a analyzovať data, dokážu predpovedať prípadné chyby či poruchy, konfigurovať samých seba a v reálnom čase sa prispôbovať zmeneným podmienkam. Inteligentné továrne sú schopné poznatky získané analýzou veľkého množstva dát zbieraných z výrobných zariadení využívať pre ich prediktívnu údržbu. Flexibilita inteligentných tovární umožňuje zvýšenie miery individualizácie hromadnej výroby. Vyrábané sú „inteligentné produkty“, ktoré je možné jednoznačne identifikovať a lokalizovať, ktoré poznajú svoju históriu a aktuálny stav, ale aj alternatívne cesty, ktoré vedú k vzniku finálneho produktu. Vertikálne výrobné systémy sú horizontálne prepojené v rámci firemných systémov, ktoré v reálnom čase pružne reagujú na okamžitý a meniaci sa dopyt po výrobkoch. Výrobné systémy sú schopné reagovať na individuálne požiadavky zákazníkov a umožňujú požadovaný produkt efektívne vyrobiť. Výrobný proces je neustále optimalizovaný a je

schopný reagovať na neočakávané zmeny spôsobené napríklad poruchou niektorého z výrobných zariadení [5].



Obr. 2.5 Štyri priemyselné revolúcie [20].

V publikácii Industrial Internet: Putting the vision into practice je štvrtá priemyselná revolúcia definovaná ako inkorporácia internetových technológií do priemyselnej výroby, ktorých využitie prinesie markantné navýšenie produktivity, real-time prepojenie výrobných závodov, ako aj prepojenie výroby a predaja produktov. Stroje, úložiská a zdroje surovín sú celosvetovo prepojené cez kyberneticko-fyzikálne systémy, ktoré dokážu vzájomne komunikovať [21]. Publikácia sa zaoberá predovšetkým pojmom „Internet of things“ a „big data“, ktoré majú mať kľúčovú úlohu v Industry 4.0.

Skupina Bosh Software Innovation pre účely prieskumu trhu [22] definovala pojem Industry 4.0 v troch bodoch:

- Pojem Industry 4.0 je súbor prepojených softwareových riešení určených pre výrobu a logistiku, ktorý sprístupňuje dáta z viacerých systémov alebo zdrojov

(strojov, senzorov, databáz, MES, SAP) a vizualizuje ich v jednotnom užívateľskom prostredí.

- S pomocou užívateľsky prívetivých vizualizácií a automatizovaných vyhodnocovacích metód, akými sú napríklad porovnanie aktuálneho a cieľového stavu, vizualizácia odchýliek, extrémnych hodnôt, alebo data-mining, je užívateľ schopný zbierať nové poznatky. V prípade, že je pomocou analýzy dát zistená odchýlka, je užívateľ automaticky upozornený zaslaním správy (email, SMS...) a je táto odchýlka zaznamenaná v užívateľskom prostredí.
- Súbor prepojených softwareových riešení zabezpečuje rýchly zber relevantných a dôveryhodných informácií. Vďaka tomu je možné robiť rozhodnutia postavené na faktoch a vďaka nim navyšovať konkurencieschopnosť, produktivitu a flexibilitu podniku.

Spoločnosť Frost & Sullivan vo svojej publikácii venovanej problematike Industry 4.0 [23] tento pojem chápe ako synonymum k pojmu Industrial Internet of Things, ktorý vznikol v USA a definuje ho pomocou štyroch bodov:

- objekty vo výrobe sú vzájomne prepojené, virtualizované a schopné analyzovať výrobné dáta,
- hmotné a virtuálne objekty majú svoju identitu,
- existuje prepojenie objektov, ktoré sú schopné vzájomného ovplyvňovania a vzájomnej kontroly,
- pomocou analýzy dát je možné v reálnom čase zistiť stav, v akom sa proces nachádza a tieto informácie využiť pre jeho zlepšenie.

Naopak Vogt vo svojej publikácii [24] pojmy Industry 4.0, Internet of Things a termín digitalizácia rozlišuje. Termín Industry 4.0 podľa neho vyjadruje digitálnu výrobu a logistiku vzájomne prepojených objektov na prepojených strojoch. Industry 4.0 sa zameriava predovšetkým na výrobný proces v tzv. „inteligentnej továrni“. Takýto výrobný proces je založený na vysokej miere prepojenia a automatizácie strojov, ktoré dokážu komunikovať vzájomne ako aj s výrobkami, ktoré práve spracúvajú. Pojmom Internet of Things označuje výrobky, ktoré sú po predaní zákazníkovi naďalej spojené s ich výrobcom a podávajú mu informácie o ich používaní, čo umožňuje rozšírenie zákazníckeho servisu. Termín Internet of Things teda nieje sústredený na samotnú výrobu produktu, ale skôr na fázu jeho užívania koncovým zákazníkom. Pojem digitalizácia autor využíva pre označenie horizontálne integrovaných procesov v rámci hodnotového toku, ktorý sa vyznačuje rastúcou autonómiou. Hodnotový tok zahŕňa výrobnú fázu (Industry 4.0), ako aj fázu využívania výrobku zákazníkom (Internet of Things), z čoho vyplýva, že termín digitalizácia zjednocuje tieto dva pojmy. Tie, koniec koncov, boli vytvorené s rovnakým zámerom- aby vyjadrili súčasný trend rastu vzájomnej prepojenosti a automatizácie zariadení.

Najelegantnejšiu definíciu však vytvorili v roku 2014 tri vedúce nemecké spolky strojného inžinierstva, elektrotechnického priemyslu a informačných technológií- VDMA, ZVEI a Bitkom. Podľa nich, je Industry 4.0 označenie pre činnosti vedúce k optimalizácii hodnotového toku implementovaním autonómne riadenej dynamickej výroby. Takéto aktivity sú možné vďaka dostupnosti informácií v reálnom čase a zosieťovaní systémov. Nástroje pre dosiahnutie zvýšenia automatizácie sú kyberneticko-fyzikálne systémy. Tie

vdďaka použitiu mikroradičov, akčných jednotiek, senzorov a vytvoreného komunikačného rozhrania dokážu autonómne pracovať a reagovať na aktuálne výrobné podmienky. Tak sa z obyčajného výrobného závodu stáva závod inteligentný [6].

2.3 Prebiehajúce projekty Industry 4.0

Vízia štvrtej priemyselnej revolúcie tak, ako bola popísaná v predchádzajúcej kapitole, sa môže javiť vzdialená a v dnešnom výrobnom prostredí nezrealizovateľná. Preto je nutné pripomenúť, že všetci autori zaoberajúci sa týmto trendom sa domnievajú, že cesta k výrobe založenej na prvkoch Industry 4.0 bude mať formu evolúcie. To potvrdzuje fakt, že v literatúre sa už objavujú prvé projekty využívajúce nástroje, ktoré sú v súlade s vyššie uvedenými definíciami Industry 4.0.

O jednom z takýchto prípadov píše Locký [25]. Vo svojom článku popisuje spôsob, akým sú vyrábané programovateľné logické automaty Simatic, malé priemyselné počítače a riadiace jednotky pre automatizáciu procesov v reálnom čase v jednom z najmodernejších závodov spoločnosti Siemens: Elektronikwerk Amberg (EWA). Ten počas roku 2015 implementoval do svojej výroby prvky Priemyslu 4.0- digitalizáciu, horizontálnu a vertikálnu integráciu, presnú identifikáciu a históriu vyrábaných produktov. Vďaka tomu je možné ku každému výrobku dohľadať parametre jeho výroby a získať všetky výrobné protokoly. Používaný software umožňuje prakticky okamžitý prechod od veľkých dát k údajom o každom výrobku dvoma kliknutiami. Denne sa ukladá viac ako 50 miliónov procesných a produktových položiek, zatiaľ čo v roku 1995 to bolo len 5 tisíc a v roku 2000 o niečo viac než 50 tisíc položiek. Kvalita výroby dosahuje 99,99885 % a vďaka mnohým skúšobným staniciam sú všetky vadné kusy identifikované ešte pred tým, než opustia výrobu. Pre návrh, design, testovanie a simuláciu vyrábaných PLC automatov slúži PLM software Siemens. Na ten je napojené plánovanie a príprava výroby, ktorá je v reálnom čase riadená pomocou MES softwaru, ktorý beží na PLC automatoch Simatic. Výstupom sú dáta pre ERP systém. Ten generuje štatistiky z výrobných dát, ukladá informácie o jednotlivých výrobkoch a spravuje údaje potrebné pre nasmerovanie výrobkov ku zákazníkom. Jeho súčasťou je systém preukázateľnosti výroby každého výrobku, čo je jeden zo základných atribútov Priemyslu 4.0. ERP systém sa stará takisto aj o tvorbu objednávok pre výrobu. Produkty počas výroby samé komunikujú s výrobnými zariadeniami a všetky procesy riadi a optimalizuje IT systém s cieľom zaistiť maximálnu efektivitu výroby. Vďaka obojstrannej komunikácii výrobky riadia dokonca aj vlastnú montáž- svoje špecifické požiadavky predávajú priamo strojným zariadeniam. Identifikačné systémy Simatic Ident umožňujú výrobkom riadiť svoj vlastný výrobný proces a QR kódy na každom polotovare v sebe nesú informácie o výrobku aj o operáciách, ktoré na ňom musia byť vykonané, aby sa z neho požadovaný výrobok stal. Vďaka QR kódom komunikuje výrobok s výrobnými strojmi. Využívaný je aj automatizovaný prepravný systém, ktorý dopraví do 15 minút všetok materiál potrebný pre výrobu k výrobnému zariadeniu. Digitalizácia v oblasti výroby prináša v Ambergu svoje výsledky- rýchlejšie inovatívne cykly a možnosť výroby väčšieho typového spektra komplexných produktov. Za rok sa realizuje viac ako 12 tisíc zlepšení, čo je v priemere 10 na zamestnanca. Prínos zlepšovacích návrhov od každého pracovníka bol kvantifikovaný na 3000 euro ročne.

Ďalším príkladom je projekt spoločnosti B&R automation, ktorá v roku 2005 uviedla na trh PLC sériu X20. Nástupom nového modelu sa dramaticky rozšírilo typové spektrum ako aj množstvo dielov potrebných pre výrobu. Aby bola zachovaná nízka cena a vysoká kvalita

produktov aj pri znížení výrobných dávok, museli byť vyvinuté nové, plne automatizované výrobné buňky, ktoré v súčasnosti dokážu vyrábať viac ako 200 rozdielnych typov PLC modulov. Buňky sú riadené PLC zariadením X20, ktoré komunikuje priamo so systémom ERP. Montážne, testovacie a štítkovacie stanice na základe sériového čísla na vstupnom materiále v reálnom čase načítajú všetky potrebné operácie a testy, ktoré majú byť na výrobku vykonané. Tie sú vykonané v zlomku sekundy a výsledky testov sú zaslané naspäť do ERP systému. Buňky sú takisto napojené na software B&R APROL, ktorý vyhodnocuje všetky výrobné dáta a na základe získaných výsledkov vytvára plán pre preventívnu údržbu strojov, čím sú minimalizované neplánované odstávky strojov a zvyšuje sa celková produktivita [26].

Pred pár rokmi bol v závode Škoda Mladá Boleslav úspešne zavedený projekt Digitálna továreň, ktorá využíva digitálne modely, simulácie a 3D vizualizácie pre zvýšenie efektivity plánovania, realizácie, riadenia a priebežného zlepšovania všetkých procesov v rámci závodu. Aplikácia ponúka všetkým užívateľom digitálny obraz plánovanej, alebo už prebiehajúcej výroby. Tak je možné celý výrobný proces overiť, odladiť a otestovať jeho riziká ešte pred začiatkom samotnej výroby. Projekt Digitálna továreň využíva mnohé CAD a CAM systémy ako aj portfólium riešení digitálnej výroby TECNOMATIX a Siemens, ktoré umožňujú vytváranie simulácií, uskutočňovanie testov a vypracovanie štúdií. V súčasnosti je projekt nasadený na úseky zvarovania, lakovania, lisovania a montáže. Simulované sú napríklad činnosti pracovníka vo výrobe, na základe čoho je posudzovaná ergonómia pracoviska. Prínosom je zníženie nákladov nutných pre overovanie procesov, otestovanie rizík ešte pred spustením výroby a efektívne využitie investičných prostriedkov [20].

V trende využívania technológií Industry 4.0 nezaspala ani korporácia Bosch, ktorá je jedným z kľúčových iniciátorov tohto hnutia a v budúcnosti sa chce stať aktívnym užívateľom, ako aj poskytovateľom riešení Industry 4.0 pre malé a stredné podniky, ktoré nemajú dostatočný kapitál a potrebné skúsenosti pre vývoj vlastných riešení.

Napríklad služba Active Assist od Bosch Rexroth je modulárny a flexibilný asistenčný systém pre montážne linky. V súčasnosti je využívaná vo výrobe v meste Homburg, kde je využívaná na deviatich úsekoch multi-produktovej linky, na ktorej je montovaných viac ako 200 rozdielnych hydraulických modulov zložených z viac ako 2000 rozličných komponentov. Vďaka tejto službe dokáže pracovník montážnej linky zmontovať veľké množstvo typov výrobku bez toho, aby poznal presný pracovný sled operácií každého z nich. Systém totiž využíva technológiu RFID (Radio-Frequency Identification), pomocou ktorej identifikuje objekt, ktorý má byť zmontovaný a načíta pracovný postup, podľa ktorého má byť diel skompletizovaný z ústredného MES alebo ERP systému. Následne systém pracovníka prevedie celým montážnym procesom pomocou vizuálnej a zvukovej navigácie. Mieru asistencie je možné prispôbiť potrebám montážneho pracovníka. Prínosom je kratšia doba potrebná pre zaučenie pracovníkov, stabilná úroveň kvality montážnych operácií a možnosť rozšírenia typového spektra [24; 27].

Závod Homburg našiel takisto využitie aj v analýze veľkých dát, vďaka ktorej dokázal znížiť čas potrebný pre kontrolu hydraulických ventilov o 18 %. To pri výrobe 40 000 ventilov ročne činí úsporu 14 pracovných dní. Pre analýzu boli použité dáta z viac ako 30 000 vyrobených produktov a na základe nej boli viaceré kontrolné body výrobné linky vyhodnotené ako nepotrebné. Ich výsledky bolo totiž možné odhadnúť s dostatočnou

spoľahlivosťou na základe analýzy dát, ktoré boli získané v predošlých bodoch kontroly. Inými slovami bola nájdená korelácia medzi výsledkami niektorých bodov kontroly [28].

Súčasťou výroby telies vysokotlakých čerpadiel pre systém Common-Rail v závodoch Stuttgart-Feuerbach a Jihlava-Pávov, je presné vŕtanie otvorov a frézovanie funkčných plôch. V tomto procese sú využívané rozmerné nástroje poháňané vretenami vážiacimi 50-70 kg, ktorých rotácia dosahuje 30 tisíc až 40 tisíc otáčiek za minútu. Pokiaľ sa guľčkové ložisko vretena zanesie nečistotami, dochádza k vibráciám vretena. Vretená sú preto vybavené senzormi, ktoré zaznamenávajú vibrácie počas celého rezného procesu a záznam je v reálnom čase automaticky vyhodnocovaný. Pokiaľ je zaznamenaná odchýlka od normálnych hodnôt, systém zašle upozornenie pracovníkovi zodpovednému za správnu funkciu stroja. Ten dokáže na základe zozbieraných dát rozhodnúť o nutnosti zásahu a v prípade potreby naplánovať údržbu stroja. Plánovanie údržby je vďaka tomuto systému jednoduchšie, nakoľko zodpovedná osoba dokáže na základe získaného záznamu vyhodnotiť závažnosť vzniknutého problému, časovú náročnosť opravy a má dostatok času na to, aby sa na zásah pripravila. Navyše v prípade, že je vreteno zastavené ešte predtým, než dôjde k jeho výpadku, je možné vymeniť len guľčkové ložisko, nieje nutné meniť celé vreteno. Implementáciou tohoto projektu bol skrátený čas potrebný pre servisovanie vretena na polovicu a počet neplánovaných údržieb klesol o 12 %. Pre takýto spôsob TPM sa ustálil termín prediktívna údržba, čo je nadstavba dnes najčastejšie využíwanej preventívnej údržby [28].

2.4 Industry 4.0 a štíhle výrobné systémy

V kapitole 2.1 boli vysvetlené základné princípy a metódy, ktoré sú simultánne využívané pri riadení štíhlych výrobných závodov s cieľom dosiahnuť najkratšiu priebežnú dobu výroby s minimálnymi stratami a zárukou vysokej kvality. Osvojenie si týchto princípov prináša do hromadnej výroby zvýšenú flexibilitu, transparentnosť a úroveň šandardizácie, ako aj možnosť zmenšenia počtu kusov vo výrobnej dávke. Vďaka tomu je možné vyrábať širšie typové spektrum a pohotovo reagovať na aktuálne požiadavky trhu.

Mnohí autori, vrátane Kolberg, Zuhlke [6], sa domnievajú že štíhla výroba ako ju chápeme dnes, dosiahla svoj limit. Silné deviácie v dopyte zákazníka už naďalej nebude možné v budúcnosti vykryť nivelizáciou. Samotná nivelizácia je totiž v rozpore so súčasným trendom priameho prepojenia výroby s požiadavkami trhu. Aj keď aplikovanie princípov štíhlej výroby prispieva k zvýšeniu variability výrobkov a je vďaka nim možné vyrábať širšie typové spektrum, zafixované poradie vyrábaných typov a pevný výrobný takt znemožňujú výrobu špecifických, neopakujúcich sa zákaziek. Štíhle výrobné systémy sú totiž založené na cyklických objednávkach zákazníka. Aby boli správne nastavené počty kanbanových kariet, veľkosti výrobných dávok a množstvo medzioperačných zásob musí byť výroba pravidelná, bez výrazných deviácií. Súčasným trendom je však skracovanie životného cyklu produktu a jeho individualizácia, čo znemožňuje odladenie výroby spôsobom, akým to robia štíhle výroby. Práve na týchto argumentoch stoja tvrdenia, že nástroje Industry 4.0 nahradia myšlienky štíhlej výroby a autonómne kyberneticko-fyzikálne systémy prevezmú riadiacu funkciu nad celou výrobou, vrátane jej plánovania. Vďaka tomu bude možné vyrábať individualizované produkty za cenu hromadnej výroby na vysoko flexibilných výrobných linkách.

Väčšina autorov však zastáva názor, že myšlienky Industry 4.0 nieje možné implementovať bez toho, aby boli rešpektované zásady zavedené v štíhlych výrobných systémoch. Porušenie týchto zásad môže viesť k [18; 29]:

- zníženiu úrovne vizualizácie pracovísk,
- obmedzeniu transparentosti,
- potlačeniu Gemba prístupu,
- znemožneniu efektívnej optimalizácie procesov z dôvodu nízkeho povedomia o fyzických väzbách medzi jednotlivými operáciami,
- potlačeniu neustáleho zlepšovania.

Podľa týchto autorov sa Priemysel 4.0 stane neoddeliteľnou súčasťou štíhlych výrobných systémov a bude musieť rešpektovať (a v žiadnom prípade potláčať) v nich ustálené princípy. Tie budú naďalej rozvíjané a výroba bude riadená tzv. štíhlou automatizáciou (lean automation). Toto slovné spojenie vzniklo v 90. rokoch 20. storočia, v dobe kedy vrcholil trend počítačom zjednotenej výroby. Aj vtedy sa mnohí domnievali, že počítače prevezmú moc nad celým výrobným procesom. Nestalo sa tak jednak z dôvodu nereálne vysokých realizačných nákladov a vysokej komplexnosti riešení, ale predovšetkým kvôli chýbajúcemu opodstatneniu takéhoto riešenia. Pokiaľ budú nástroje Industry 4.0 využité pre podporu pracovných činností človeka, nie pre jeho nahradenie, vznikne priestor pre rozvoj štíhlej výroby ako aj Priemyslu 4.0. Základné myšlienky a vízie oboch filozofií sú totiž zhodné, čo dokazuje aj porovnanie vízie BPS s definíciou Industry 4.0, ktorá sa ustálila v rámci korporácie Bosch [30]:

Vízia BPS: *„Uchvacujeme našich zákazníkov a zamestnancov tým, že dodávame konkurencieschopné produkty zo svižných, udržateľných, bezstratových hodnotových tokov.“*

Definícia Priemyslu 4.0: *„Priemysel 4.0 je prepojenie hmotného prostredia výroby a virtuálneho sveta informačných technológií a internetu. Ľudia, stroje, objekty a systémy sú prepojené pomocou IT a internetu, vzájomne komunikujú a optimalizujú sa. Výroba je do vysokej miery individualizovaná a zodpovedá požiadavkám zákazníka. Vďaka vysokej kvalite výrobkov je možné dosiahnuť vysokú flexibilitu, robustnosť a optimálne rozloženie zdrojov.“*

Z uvedeného vyplýva, že cieľom Industry 4.0 ako aj BPS je ponúkať *„konkurencieschopné výrobky zo svižného a udržateľného bezstratového hodnotového toku“*. V definícii Industry 4.0 stojí, že *„spojením ľudí, strojov, objektov a systémov je možné dosiahnuť zvýšenia flexibility, robustnosti a optimálneho rozmiestnenia zdrojov“*, pričom presne to je myslené slovným spojením *„hodnotový tok bez strát“* o ktorom sa hovorí vo vízii BPS. Priemysel 4.0 môže byť preto vnímaný ako súbor nástrojov digitalizácie, ktoré podporujú vízie štíhlych výrobných systémov- dosiahntie svižných a udržateľných bezstratových hodnotových tokov. Tento názor zastáva aj Sanders, Elangeswaran a Wulfsberg v publikácii [29], ktorí zverejnili zoznam 10 princípov štíhlych výrobných systémov, popísali vplyvy, ktoré bránia naplneniu týchto princípov a uviedli nástroje Industry 4.0, ktoré môžu prispieť k ich naplneniu.

Napríklad nepresné sledovanie množstva materiálu dodaného na výrobnú linku a časté zmeny vo výrobnom pláne sú v rozpore s princípom ťahu. Zavedené štíhle výrobné systémy pre udržanie správneho množstva materiálu na linkách zvyčajne využívajú systém Kanban, ktorý je založený na cirkulácii vypočítaného množstva kanbanových kariet vo výrobnom procese. Množstvo materiálu na výrobnej linke je riadené množstvom kariet, ktoré sú uvoľnené do obehu. Určiť optimálne množstvo kanbanových kariet a teda aj zásob

však nie je jednoduchou úlohou. Pre vypočítanie je totiž potrebné brať v úvahu faktory ako je čas znovunaplnenia, chovanie zákazníka, veľkosť dávky, výkon hodnotového toku, stabilita procesov, či presnosť plánovania zákaznických odvolávok [16]. Tie je obtiažne určiť exaktne a zvyčajne sú premenlivé, preto je nutné počet kariet v obehu priebežne prepočítavať a upravovať. Riešením je systém E-kanban, ktorý využíva boxy na materiál vybavené senzormi, ktoré dokážu vyslať signál v momente vyprázdnenia boxu. Tento signál je zachytený riadiacim systémom, ktorý automaticky vyšle príkaz pre nahradenie prázdneho boxu plným. Systém zabezpečí, aby bol vo výrobe v každom okamihu správny materiál v správnom množstve na správnom mieste. Navyše odstraňuje riziko straty fyzickej kanbanovej karty, umožňuje častejšie zmeny vo výrobných dávkach a taktach a umožňuje automatický zber dát pre budúcu optimalizáciu výroby [6; 29].

Aby bol zabezpečený nepretržitý tok materiálu musí byť na každom úseku výrobnej linky dostatok (ale nie prebytok) rozpracovaných dielov, aby nedošlo k jej zastaveniu zapríčinenému nedostatkom vhodného materiálu pre výrobu požadovaných dielov. V mnohých prípadoch je tok prerušený z dôvodu chyby v inventúre, momentálne zníženej kapacity časti úseku výrobnej linky, alebo prídlhej reakčnej doby typickej pre centralizované riadenie výroby. Priemysel 4.0 ponúka technológiu RFID (Rádiofrekvenčná identifikácia), vďaka ktorej je možné pohyb materiálu jednotlivými úsekmi výroby sledovať v reálnom čase. Mnohé z výrobných závodov firmy Bosch vybavili nádoby pre prepravu materiálu čipmi RFID a na viaceré miesta vo výrobnom procese umiestnili senzory schopné čipy bezdotykovo nasnímať. Vďaka tomu vzniká digitálna mapa, ktorá znázorňuje tok materiálu celou výrobou a je na prvý pohľad zrejmé, aké množstvo materiálu sa nachádza medzi jednotlivými úsekmi výroby. Vďaka tomu je možné odstrániť, prípadne minimalizovať manuálnu fyzickú inventúru rozpracovanej výroby. Navyše je dosiahnutá vyššia miera transparentnosti a presnosti získaných informácií, čo vytvára priestor pre minimalizáciu medzioperačných zásob. Využitím tejto technológie závod v Homburgu dosiahol 10% zvýšenia produktivity a znížil stav medzioperačných zásob o tretinu [28; 29].

Dostupnosť strojov v každom momente je možné dosiahnuť kvalitným systémom TPM. Tú v súčasnosti zabezpečuje preventívna údržba založená na pravidelnom servise strojov v stanovených časových intervaloch, ktoré odpovedajú miere akou dochádza k opotrebovaniu jednotlivých častí stroja. Využitie nástrojov Industry 4.0 určených pre real-time sledovanie stavu výrobných strojov umožnilo vznik systému prediktívnej údržby. Ten upozorní technika zodpovedného za stav stroja v momente, kedy je zaznamenaná odchýlka sledovanej veličiny, ktorá naznačuje nesprávnu funkciu časti výrobného stroja. Systém prediktívnej údržby je využívaný pre monitorovanie stavu vretien v závodoch firmy Bosch v Jihlave a Feuerbach a bol popísaný v predchádzajúcej kapitole [28; 29].

Rizikom pri zavádzaní riešení Industry 4.0 v štíhlych výrobných systémoch je porušenie jednej, alebo viacerých zásad štíhleho riadenia výroby. Na toto riziko upozorňuje Peitzker v článku [31], v ktorom kritizuje nahradenie cyklického zásobovania výrobných liniek milkrunom autonómnym systémom riadenia prepravy materiálu schopným samostatnej organizácie umožnenej vďaka nástrojom Priemyslu 4.0. Autonómny výrobný systém síce umožňuje flexibilné navážanie materiálu na základe spotrebovaného množstva a spĺňa teda viaceré BPS princípy, menovite princíp ťahu a zvyšovanie flexibility. Neustále samorganizované zmeny však môžu potlačiť transparentnosť logistických procesov, znemožniť vytvorenie štandardu a zvyšujú časovú náročnosť optimalizácie systému, ktorú je navyše schopný vykonávať len vysoko vzdelaný pracovník. Aby bolo minimalizované

riziko vzniku problémov tohto typu je nutné dodržať pri implementácii nástrojov Industry 4.0 viaceré zásady, ktoré budú menované v závere kapitoly.

Dôvodom pre využitie nástrojov Industry 4.0 v štíhlych výrobných systémoch je zvýšenie transparentnosti výrobných procesov a oslobodenie pracovníkov výroby od rutinných činností. Transparentnosť je dôležitým prvkom štíhlej výroby, pretože vytvára podmienky vhodné pre neustále zlepšovanie procesov- činnosť, ktorá vedie k odstraňovaniu plýtvania. Oslobodenie od rutinných činností vedie k zvýšeniu produktivity a umožňuje pracovníkom sústrediť sa na aktivity vedúce k zlepšeniu výrobných procesov. Dôležité je však poznamenať, že nástroje Industry 4.0 prirodzene nevedú k zvýšeniu transparentnosti, pretože:

- zložitosť nástrojov Industry 4.0 je nad rámec chápania bežného zamestnanca,
- autonómne systémy menia výrobný proces bez vedomia pracovníka,
- zamestnanci nerozumejú dátam, ktoré sú zbierané a vyhodnocované.

Aby boli nástroje Priemyslu 4.0 implementované v súlade s princípmi štíhlej výroby, boli potlačené riziká pri ich zavádzaní a bol maximalizovaný ich prínos pre výrobný systém je nutné dodržať viaceré zásady [30]:

- Nástroje Priemyslu 4.0 môžu byť implementované len v procesoch, ktoré dosiahli adekvátnu úroveň „zrelosti“. To znamená, že sú pochopené, zrozumiteľné pre všetkých zamestnancov, stabilné a do istej miery automatizované aj bez využitia nástrojov IT.
- Zamestnanci výrobného úseku, ktorí budú využívať nástroje Industry 4.0 (vrátane pracovníkov výroby) musia byť dostatočne kvalifikovaní, aby boli schopní tieto nástroje efektívne využívať. Požadované sú predovšetkým znalosti v oblasti analýzy dát.
- Výsledky získané analýzou dát musia byť užívateľovi poskytnuté v takej forme, aby bol schopný informácii porozumieť. Každý pracovník výroby musí byť okamžite schopný identifikovať odchýlku od štandardu a odhaliť koreňovú príčinu vzniku odchýlky.
- Pre udržanie zrozumiteľnosti toku materiálu nesmie autonómny systém prevziať absolútnu kontrolu nad výrobným procesom. Aby bola zachovaná transparentnosť toku materiálu musí byť vopred určená cesta každého produktu výrobným procesom. V prípade, že dôjde k odchýlke, systém nesmie pre produkt zvoliť alternatívnu cestu bez toho, aby o zmene informoval kompetentnú osobu a bez toho, aby táto osoba zmenu potvrdila.
- V prípade, že nástroj Industry 4.0 nahradzuje zaužívanú metódu, musia oba systémy bežať súbežne až do momentu, kedy je nový nástroj dostatočne stabilný a pracovníci ho samovoľne uprednostnia pred starším systémom.
- Musí byť zachovaný prístup Genchi Genbutsu a pravidelné Gemby. Plánovači a manažéri musia naďalej tráviť veľkú časť svojej pracovnej doby vo výrobe, nakoľko veľké množstvo faktorov nieje možné zaznamenať senzormi. Ich rozhodnutia musia byť aj naďalej postavené na osobných dojmach a diskusií so

zamestnancami pracujúcimi vo výrobe. Nástroje Industry 4.0 však veľkou mierou prispievajú k získaniu objektívneho pohľadu a ponúknu relevantné a presné informácie, ktoré môžu prispieť k lepším a rýchlejšim rozhodnutiam.

Porovnanie vízie štíhleho výrobného systému BPS s definíciou Industry 4.0 ako aj vyššie popísané projekty naznačujú, že Lean s nástupom Industry 4.0 nezanikne. Práve naopak, princípy štíhlej výroby budú dôležitejšie ako kedykoľvek predtým, pretože úspešnosť implementácie nástrojov Industry 4.0 je podmienená ich rešpektovaním. Štvrtá priemyselná revolúcia (či evolúcia) môže veľkým dielom prispieť k vytvoreniu skutočne štíhlej výroby. Vďaka nástrojom Priemyslu 4.0 je možné získať množstvo informácií o dopyte zákazníka a táto informácia môže byť okamžite zdieľaná naprieč celým hodnotovým tokom. Inteligentné továrne dokážu vyrábať rýchlejšie a s menšími stratami, umožnia skutočný tok jedného kusu a vďaka real-time sledovaniu toku materiálu bude možné radikálne znížiť množstvo zásob v celom hodnotovom toku. Inkorporácia tak mocných a komplexných nástrojov ako sú tie, ktoré ponúka Industry 4.0 zaiste zmení tvár Leanu. Je pravdepodobné, že budú čoraz menej využívané fyzické kanbanové karty, andonové „záchranné brzdy“, nástenky pre sledovanie procesu a podobné nástroje typické pre štíhle výrobné systémy. Je ale nutné upozorniť na fakt, že Toyota, ktorá ako prvá zaviedla systém štíhlej výroby, nikdy nezakladala svoj úspech na využívaní týchto hmotných nástrojov. Využitie nástrojov bolo v dobe ich vzniku opodstatnené, pretože viedli k naplneniu princípov a vízie TPS. Pokiaľ teda budú nástroje Industry 4.0 využívané v súlade s princípmi štíhlej výroby a budú viesť k naplneniu vízie spoločnosti, bude ich využitie opodstatnené a ich využitie posilní výrobný systém nevídaným spôsobom.

3 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Súčasný stav výroby bol zistený pozorovaním výrobného procesu spôsobom popísaným v metodike práce. Sledovanie prebehlo v závode Jihlava Pávov (JhP) vo výrobe čerpadiel CP4 na troch výrobných úsekoch:

- úsek triedenia piestov pre čerpadlo CP4,
- úsek obrábania hláv pre čerpadlo CP4,
- úsek montáže hláv pre čerpadlo CP4 (tzv. predmontáž).

3.1 Metodika práce

Vzhľadom na charakter práce a jej prepojenie s výrobným podnikom bolo nutné systematicky pozorovať súčasný proces výroby komponentov pre čerpadlo CP4 v Jihlavskom závode firmy Bosch.

Autor štúdie systematicky pozoroval výrobný proces na troch výrobných úsekoch. Pracovisko obrábania hláv bolo pozorované 9.1.2017 v čase od 6:30 do 16:00, pracovisko montáže hláv 10.1.2017 v čase od 6:00 do 16:00 a pracovisko triedenia piestov 11.1.2017 v čase od 6:00 do 9:00. Kratšia doba pozorovania pracoviska triedenia piestov bola odôvodnená nízkym počtom necyklických operácií.

Nadobudnuté znalosti boli podporené a doplnené štatistickou analýzou dát, ktorá je zárukou objektivitu. Pre analýzu boli využité dáta uložené v databázovom systéme OpCon Info Service.net (OIS.net) [32] a dáta získané z experimentov. Zozbierané informácie boli spracované v tabuľkovom procesore Microsoft Excel. Pomocou štatistickej analýzy bolo testovaných celkom 7 hypotéz.

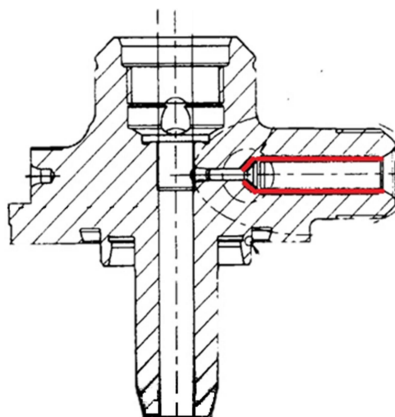
Priamym sledovaním procesu a štatistickou analýzou dát získal autor dostatok informácií pre navrhnutie alternatívneho riešenia riadenia procesu honovania a teda k dosiahnutiu primárneho cieľa práce.

3.2 Úsek obrábania hláv pre čerpadlo CP4

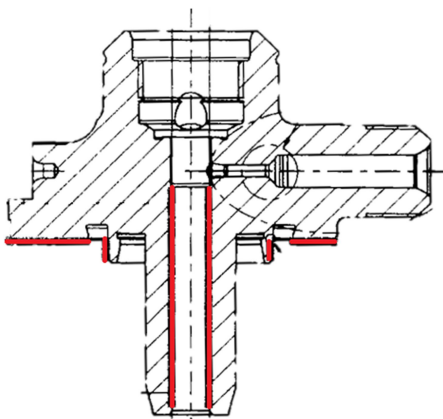
Pracovisko obrábania hláv naväzuje na proces tepelného spracovania polotovaru. Na pracovisku sa uskutočňujú dokončovacie operácie v nasledujúcom poradí:

- operácia OP10- Brúsenie vnútorného priemeru otvoru a sedla RSV (viz obr. 3.1),
- operácia OP20- Brúsenie vnútorného otvoru pre vloženie piestu + brúsenie dosadacej plochy (viz obr. 3.2),
- operácia OP30- Honovanie vnútorného otvoru pre vloženie piestu (viz obr. 3.3),
- operácia OP40- Pranie, kontrola závitů RSV, vizuálna kontrola a balenie.

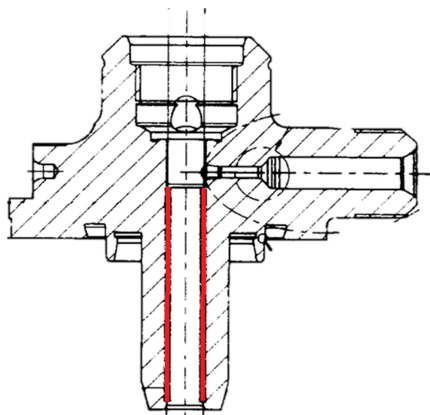
Schéma pracoviska je k práci priložená ako príloha 1.



Obr. 3.1 Operácia 10- Brúsenie vnútorného priemeru otvoru a sedla RSV [4].



Obr. 3.2 Operácia 20 - Brúsenie vnútorného otvoru pre vloženie piestu + brúsenie dosadacej plochy [4].



Obr. 3.3 Operácia OP30- Honovanie vnútorného otvoru pre vloženie piestu [4].

3.3 Pracovisko triedenia piestov pre čerpadlo CP4

Pracovisko triedenia piestov funguje v rámci Jihlavského závodu od roku 2013. Dôvodom pre jeho presun zo závodu Stuttgart-Feuerbach bolo rozšírenie typového spektra používaných piestov. Pred rokom 2013 sa používali výhradne piesty bez povlaku, ktoré boli brúsené na presný rozmer interne. Potom pribudli piesty so špeciálnymi povlakmi, ktoré boli dovážané už po roztriedení z nemeckého závodu. Od vytvorenia pracoviska triedenia piestov je v Jihlave triedených 8 typov piestov a jediný typ je interne brúsený. Schéma pracoviska Jihlavského závodu je v prílohe 2.

Na pracovisku sú umiestnené stroje Baumann Feedbox, v ktorých robotické rameno uchopuje piesty a vkladá ich do zariadenia pre meranie vonkajšieho priemeru. Priemer je zmeraný v štyroch rovinách rozmiestnených po celej dĺžke piestu. Následne je na základe zmeraného priemeru v rovine M3 piest zaradený do jednej z ôsmich rozmerových tried a je uložený do príslušnej palety. Do triedy 1 padajú kusy s najmenším priemerom a do triedy 8 piesty s najväčším priemerom. Na niektoré typy piestov sú po premeraní ešte pred uložením do palety zalisované poistné krúžky. Po nahromadení ôsmich paletiek sú piesty vložené do pračky.

Každá z palet je označená farebným symbolom, podľa ktorého je na prvý pohľad možné identifikovať aký typ piestu obsahuje. Na palete je takisto uvedený menovitý priemer piestu (5,5 mm, 6,5 mm alebo 7,35 mm). Do palety je navyše zalisovaný čip, v ktorom sú nahrané informácie o type piestov uložených v palete, zmeranej triede a čase, kedy bola paleta naplnená.

3.4 Úsek montáže hláv pre čerpadlo CP4 (Predmontáž)

Predmontáž je posledným úsekom pred samotnou montážou čerpadla. Je to miesto, na ktorom sa kompletizuje hlava čerpadla a dochádza k spárovaniu piestov s hlavami.

Na montážnych linkách sa vykonáva množstvo jednoduchých úkonov, ktoré vedú ku zloženiu hlavy čerpadla. Pracovné operácie prebiehajú v nasledujúcom poradí:

- naskenovanie DMC (Datamatrix) kódu hlavy (overenie, že ide o správny typ hlavy a že diel úspešne prešiel všetkými predošlými operáciami),
- zalisovanie vysokotlakého ventilu do sedla RSV,
- vloženie sacieho ventilu do príslušného otvoru a jeho následné zazátkovanie,
- kontrola piestu proti prepadnutiu,
- zmeranie vnútorného priemeru otvoru pre vloženie piestu v troch rovinách a určenie jeho tolerančnej triedy na základe hodnoty zmeranej v rovine M3,
- zmeranie vonkajšieho priemeru piestu v troch rovinách a určenie jeho tolerančnej triedy na základe hodnoty zmeranej v rovine M3,
- nasadenie pružiny a poistného krúžku na hlavu,
- spárovanie piestu a hlavy (K spárovaniu dochádza len v prípade, že je vypočítaná vôľa medzi piestom a hlavou v požadovanej tolerancii. Na správne spárovanie má obsluha stroja 5 pokusov, v prípade neúspechu je hlava vyradená z montážneho procesu).
- uloženie zmontovanej hlavy do palety.

Na pracovisku má obsluha k dispozícii na dosah ruky všetky triedy piestov, pri párovaní teda môže využívať aj piesty rozdielnej triedy, ako je trieda hlavy čerpadla. Toho obsluha využíva v prípade, že je zmeraný priemer honovaného otvoru hlavy blízko hraničného rozmeru. Pokiaľ sa rozmer blíži k hornej hranici triedy, obsluha siahne po pieste z paletky, ktorá obsahuje piesty o triedu väčšie, ako je vyhodnotená trieda hlavy.

Merania priemeru piestu a honovaného otvoru, ktoré prebehli na pracovisku honovania hláv a pracovisku triedenia piestov sú len informatívne a slúžia ku urýchleniu procesu párovania. Smerodajné sú vždy hodnoty namerané pri párovaní hlavy s piestom na montážnej linke.

3.5 Riadenie výroby na úseku obrábania hláv

V súčasnosti je proces obrábania hláv riadený na základe výrobného plánu. Schéma procesu je na obr. 3.6. Denný plán výroby, ktorý je vytvorený pre montážne linky čerpadiel CP4 pracovníkmi logistiky, dostáva majster zodpovedný za úsek obrábania hláv spravidla o 11:00. Majster na základe informácií získaných z denného plánu určí potrebný počet kusov hláv každého typu, ktoré musia byť do ďalšieho výrobného dňa vyrobené, aby nedošlo k zastaveniu niektorej z montážnych liniek z dôvodu nedostatku hláv. Podľa požadovaného počtu kusov hláv vloží vypočítaný počet kanbanových kariet do zberných boxov, ktoré sú umiestnené pred operáciou OP10. Poradie, v akom budú jednotlivé typy hláv vyrobené, je daný poradím zberných boxov vo FIFO sklzoch.

Poradie zberných boxov vo FIFO sklze a množstvo kanbanových kariet, ktoré obsahujú dáva nastavovačovi obrábacích strojov pre operáciu OP10 jasnú informáciu o počte a slede vyrábaných typov počas celého nasledujúceho výrobného dňa. Na základe počtu kanbanových kariet v zberných boxoch nastavovač takisto objednáva polotovary.

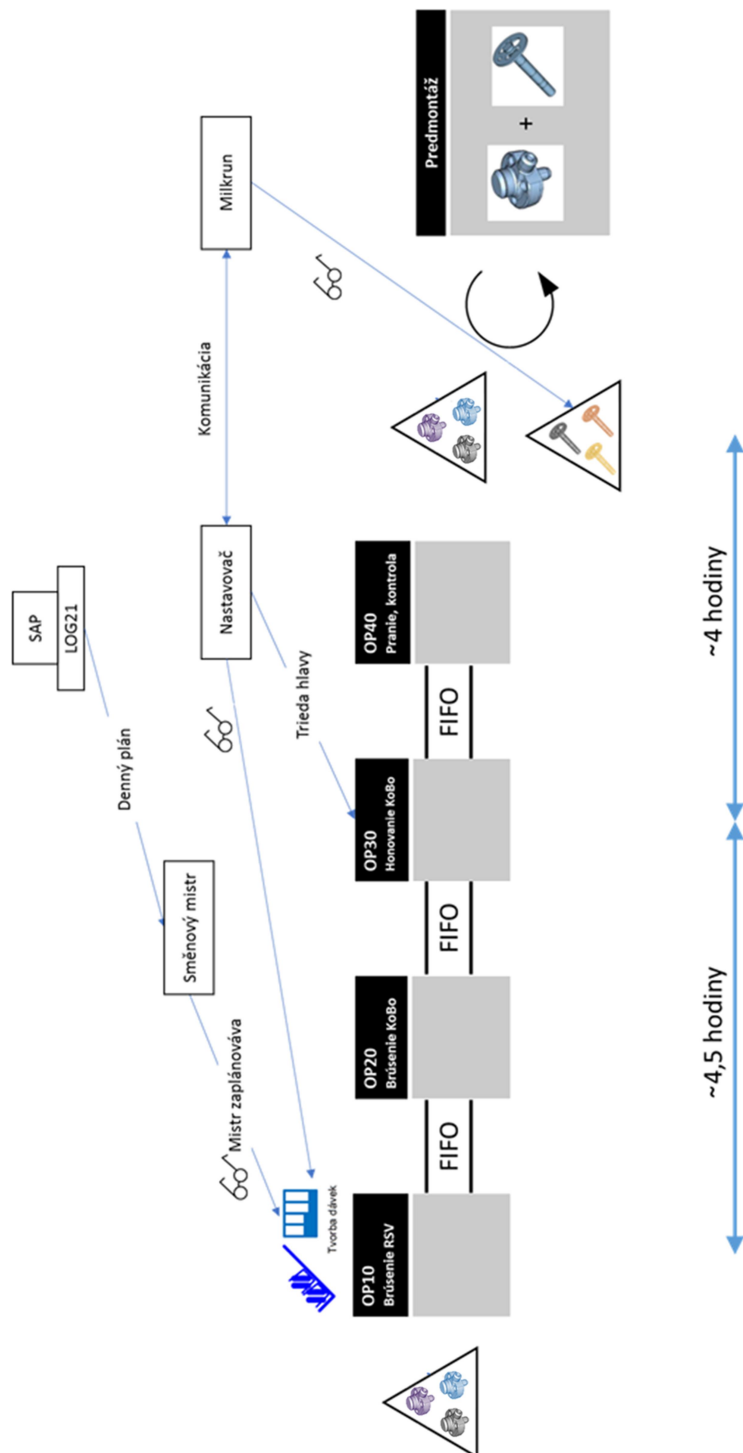
Raz za zmenu, spravidla na jej začiatku nastavovač honovacích strojov (OP30) prichádza k regálu s FIFO sklzmi a spíše si všetky typy hláv, ktoré budú počas jeho zmeny honované.

S touto informáciou odchádza na pracovisko montáže hláv, kde sa stretne so zásobovačom predmontážnych liniek (tzv. Milkrun). Spoločne prechádzajú vstupný sklad, kde sú uložené piesty a po spočítaní ich množstva rozhodnú, na akú tolerančnú triedu budú jednotlivé typy hláv honované. Hlavy sú vždy honované na triedu, ktorá má medzi piestami daného typu najpočetnejšie zastúpenie.

Po dohode nastanovač honovacích strojov Kadia odchádza na úsek obrábania hláv, kde informácie o požadovaných triedach odovzdá obsluhu strojov operácie OP30. Tá podľa dohodnutého sledu nastavuje na honovacích strojoch nominálnu hodnotu priemeru otvoru tak, aby obrobené hlavy spĺňali tolerancie predpísané pre požadovanú rozmerovú triedu. K správne nastaveniu využíva tabuľku, v ktorej sú uvedené maximálne, minimálne a stredné hodnoty finálneho rozmeru otvoru po honovaní.

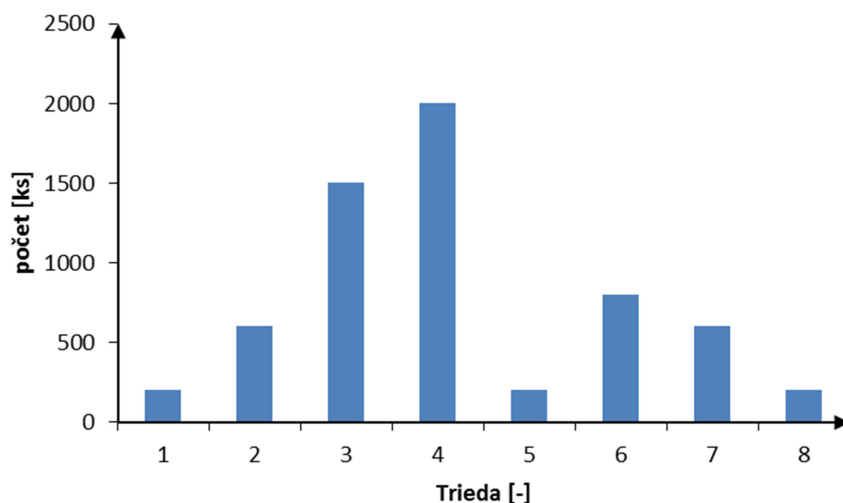
Vzhľadom na vysokú požadovanú presnosť (šírka jednej tolerančnej triedy je v desatinách mikrometra) sú vždy 2 kusy zo 120 vyrobených hláv zmeraných na stanici Stotz, ktorá je umiestnená pred obrábacím strojom Kadia. Získané hodnoty slúžia k overeniu správnosti nastavenia nominálnej hodnoty na stroji Kadia. Pokiaľ meracia stanica zaradí otvor do inej

triedy ako je práve požadované, obsluha stroja upraví nominálnu hodnotu, na ktorú je honovací stroj nastavený.



Obr. 3.6 Schéma riadenia procesu honovania.

Dôležitým poznatkom je, že hlavy sú čiastočne honované na neštandardné triedy 3+, 4+, 5+ a pod. Jedná sa o honovanie na hraničný rozmer medzi dvoma triedami. Napríklad pri honovaní hlavy s priemerom $\varnothing 5,5$ mm na triedu 3+ je nominálna hodnota nastavená na $\varnothing 5,4990$ mm, čo je podľa tab. 1 maximálny dovolený rozmer pre triedu 3 a minimálny rozmer pre triedu 4. Takýto postup je opodstatnený v prípade, že je stav piestov na sklade podobný, ako na ilustratívnom obr. 3.7, teda že sa počet piestov niektorej z tried (v tomto prípade triedy 5) blíži nule. Pri honovaní na triedu 3+ sú vyrobené hlavy triedy 3 a 4, nemalo by dôjsť k výrobe hláv triedy 2 a 5. Pri párovaní sa teda spotrebujú piesty triedy 3 a 4, ktoré sú v sklade najpočetnejšie a nehrozí úplné vyčerpanie zásob piestov triedy 5.



Obr. 3.7 Stav piestov na sklade.

3.6 Štatistická analýza

Pomocou štatistickej analýzy boli overené nasledujúce hypotézy:

- hypotéza 1: Priemery neroztriedených piestov, ktoré prichádzajú do Jihlavského závodu sa riadia normálnym rozdelením,
- hypotéza 2: Obsluha montážnej linky páruje hlavy s piestom inej triedy ako je odporúčené v prípade, že je nameraná hodnota priemeru hlavy blízka hraničnému rozmeru.
- hypotéza 3: Existuje rozdiel medzi hodnotou priemeru piestu zmeranej na pracovisku triedenia piestov a na pracovisku predmontáže,
- hypotéza 4: Priemer honovaných otvorov hláv sa riadi normálnym rozdelením,
- hypotéza 5: Honovací stroj je optimálne nastavený,
- hypotéza 6: Nastavovač honovacích strojov je schopný nastaviť nominálnu hodnotu priemeru otvoru na stroji Kadia tak, aby vozík s hlavami obsahoval výhradne hlavy požadovanej triedy,

- hypotéza 7: Existuje rozdiel medzi hodnotou priemeru hlavy zmeranej na stanici Stotz, ktorá je súčasťou montážnej linky, na honovacom stroji Kadia a na stanici Stotz umiestnenej na úseku obrábania hláv.

Dáta potrebné pre vytvorenie štatistickej analýzy boli získané z databázového systému OpCon Info Service.net (OIS.net). Jedná sa o systém vytvorený spoločnosťou ATMO. V závode Jihlava je za jeho správu zodpovedné oddelenie TEF64. Systém bol vytvorený pre monitorovanie výrobných procesov a vyhodnocovanie dát získaných zo všetkých výrobných staníc pripojených do systému [32]. V súčasnosti sú v závode Jihlava do systému OIS.net pripojené všetky stroje každej z výrobných operácií čerpadla CP4. Systém obsahuje viacero modulov, ktoré sa líšia svojimi funkciami a sú určené pre rôzne skupiny užívateľov [32]. Pre overenie všetkých hypotéz boli využité dáta zozbierané priamo z výrobného procesu v období od 2.1.2017 do 14.4.2017.

3.6.1 Test hypotézy 1

Pre overenie Hypotézy 1 (namerané hodnoty priemeru piestov, ktoré prichádzajú do Jihlavského závodu zodpovedajú normálnemu rozdeleniu) bol z obdobia od 2.1.2017 do 29.1.2017 vybraný jeden 60- minútový časový úsek, počas ktorého boli na stroji Bauman Feedbox triedené prichádzajúce piesty. Náhodný výber bol zabezpečený vytvorením algoritmu v tabuľkovom procesore Microsoft Excel, ktorý bol založený na funkcii pre generovanie náhodných čísel. Náhodne vybraný bol časový úsek 2:00-3:00 z 12.1.2017.

Následne boli z databázového systému OIS.net stiahnuté hodnoty $\bar{M}3_p$ (hodnota priemeru piestu v rovine M3) všetkých piestov, ktoré boli vo vybranom časovom úseku roztriedené. Vo vybranom časovom intervale bolo roztriedených 300 kusov piestov.

Pre overenie predpokladu bola využitá kombinácia grafických a analytických metód. Pre získanie hrubej predstavy o tvare rozdelenia bol vytvorený histogram rozdelenia pravdepodobnosti (viz obr. 3.8). Červená čiara popisuje rozdelenie pravdepodobnosti pre teoretické normálne rozdelenie. Vzťahy, ktoré boli použité pre výpočet všetkých parametrov je možné nájsť v literatúre [33; 34].

Z neroztriedeného štatistického súboru (x_1, \dots, x_n) , s rozsahom $n = 300$ [-] bol vytvorený usporiadaný štatistický súbor $(x_{(1)}, \dots, x_{(n)})$, pre ktorý platí $x_{(i)} \leq x_{(i+1)}$. Po vytvorení usporiadaného štatistického súboru bol určený vhodný počet tried pomocou vzťahu (3.1) a dĺžka triedy pomocou vzťahu (3.2):

$$m \approx 1 + 3,3 \cdot \log n = 1 + 3,3 \cdot \log 300 = 9,1745 \approx 10 [-] \quad (3.1)$$

kde m je počet tried,
 n je rozsah štatistického súboru.

$$h = \frac{x_{(n)} - x_{(1)}}{m} = \frac{6,4958 - 6,4943}{10} = 1,5 \cdot 10^{-4} [mm] \quad (3.2)$$

kde h je dĺžka triedy,
 $x_{(n)}$ je hodnota poslednej štatistickej jednotky usporiadaného súboru,
 $x_{(1)}$ je hodnota prvej štatistickej jednotky usporiadaného súboru.

Následne boli vypočítané stredy tried.

$$x_j^* = \frac{x_{(max)} - x_{(min)}}{2} [mm] \quad (3.3)$$

kde x_j^* je stred j-tej triedy,
 $x_{(max)}$ je horná hranica triedy,
 $x_{(min)}$ je dolná hranica triedy.

Stred triedy 1 má hodnotu:

$$x_1^* = \frac{6,49445 - 6,4943}{2} = 6,494375 [mm]$$

Analogicky boli spočítané stredy zvyšných tried. Po roztriedení a určení absolútnych početností vznikol z usporiadaného štatistického súboru súbor roztriedený (x_j^* , f_j), kde f_j je absolútna početnosť j-tej triedy.

Pre výpočet relatívnej početnosti každej z tried roztriedeného štatistického súboru:

$$p_j = \frac{f_j}{n} [-] \quad (3.4)$$

kde p_j je relatívna početnosť j-tej triedy,
 f_j je absolútna početnosť j-tej triedy.

Relatívna početnosť triedy 1 roztriedeného štatistického súboru je:

$$p_1 = \frac{f_1}{n} = \frac{3}{300} = 0,01 [-]$$

Aby bolo možné určiť rozdelenie pravdepodobnosti normálneho rozdelenia je potrebné poznať aritmetický priemer a smerodajnú odchýlku populácie. Pokiaľ táto hodnota nieje známa, je možné použiť bodový odhad strednej hodnoty a bodový odhad smerodajnej odchýlky. Tieto hodnoty je možné vypočítať zo štatistického súboru pomocou vzťahov (3.5) a (3.6):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j \cdot x_j^* = \frac{1}{300} \cdot 1948,512 = 6,49504 [mm] \quad (3.5)$$

kde \bar{x} je bodový odhad strednej hodnoty.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j \cdot (x_j^* - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{300} \cdot 1,59428 \cdot 10^{-5}} = 2,3031 \cdot 10^{-4} \quad (3.6)$$

kde s je bodový odhad smerodajnej odchýlky.

Distribučná funkcia normálneho rozdelenia je:

$$F(x^*) = \int_{-\infty}^{x^*} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3.7)$$

kde $F(x^*)$ je distribučná funkcia pravdepodobnosti normálneho rozdelenia,
 σ je smerodajná odchylka,
 μ je stredná hodnota priemeru.

Pri použití bodového odhadu smerodajnej odchylky a bodového odhadu aritmetického priemeru sa vzťah (3.7) zmení na (3.8):

$$F(x^*) = \int_{-\infty}^{x^*} \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2s^2}} dx \quad (3.8)$$

V bode, ktorý je stredom triedy 1 má táto funkcia hodnotu:

$$F(x_1^*) = \int_{-\infty}^{6,494375} \frac{1}{2,3031 \cdot 10^{-4}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-6,49504)^2}{2 \cdot (2,3031 \cdot 10^{-4})^2}} dt = 1,9827 \cdot 10^{-3} [-]$$

Vzájomným odčítaním hodnôt distribučnej funkcie v bodoch x_j^* , ktoré sú stredmi tried je možné vypočítať pravdepodobnosť nastúpenia javu p_{Nj} pre prípad, že sa pravdepodobnosť riadi teoreticky ideálnym normálnym rozdelením (termín pravdepodobnosť sa používa v prípade, že hovoríme o celej populácii, termín relatívna početnosť v prípade, že hovoríme o výberovom štatistickom súbore. V tomto prípade hovoríme o odhade rozdelenia celej populácie, preto bol zvolený termín pravdepodobnosť).

$$p_{Nj} = F(x_{j+1}^*) - F(x_j^*) \quad (3.9)$$

kde p_{Nj} je pravdepodobnosť nastúpenia javu x_j .

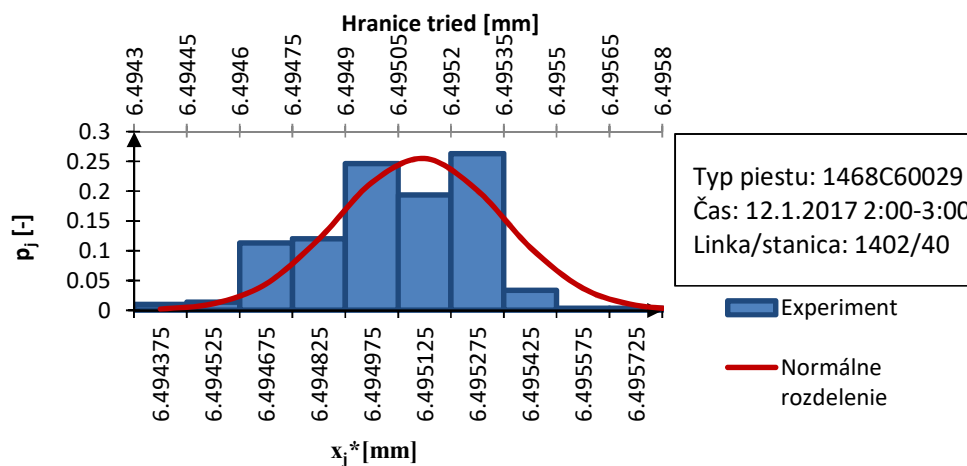
Pre triedu 2 dosadením do (3.9):

$$p_{N2} = F(x_2^*) - F(x_1^*) = 1,2887 \cdot 10^{-2} - 1,9827 \cdot 10^{-3} = 1,0904 \cdot 10^{-2} [-]$$

Nakoniec boli všetky vypočítané hodnoty prehľadne zapísané do tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vypočítané hodnoty potrebné pre zostrojenie histogramu štatistického súboru z 12.1.2017 2:00-3:00.

Štatistický súbor z 12.1.2017 2:00-3:00							
Rozsah n [-]:	300						
Počet tried [-]	10						
Dĺžka triedy [mm]	$1,5 \cdot 10^{-4}$						
Bodový odhad aritmetického priemeru \bar{x} [mm]:	6,49504						
Bodový odhad smerodajnej odchylky s [mm]:	$2,3031 \cdot 10^{-4}$						
Trieda [-]	Minimum triedy $x_{jmin}[mm]$	Maximum triedy $x_{jmax}[mm]$	Stred triedy $x_j^*[mm]$	Absolútna početnosť $f_j[-]$	Relatívna početnosť $p_j[-]$	Hodnota dist. f. $F(x_j^*[-])$	Pravdepodobnosť $p_{Nj}[-]$
1	6.4943	6.49445	6.494375	3	0.0100	0.0020	0.001982719
2	6.49445	6.4946	6.494525	4	0.0133	0.0129	0.010904205
3	6.4946	6.49475	6.494675	34	0.1133	0.0572	0.04436066
4	6.49475	6.4949	6.494825	36	0.1200	0.1770	0.119712841
5	6.4949	6.49505	6.494975	74	0.2467	0.3914	0.214422985
6	6.49505	6.4952	6.495125	58	0.1933	0.6464	0.255002213
7	6.4952	6.49535	6.495275	79	0.2633	0.8478	0.201375019
8	6.49535	6.4955	6.495425	10	0.0333	0.9533	0.1055826
9	6.4955	6.49565	6.495575	1	0.0033	0.9901	0.03673961
10	6.49565	6.4958	6.495725	1	0.0033	0.9986	0.008479495



Obr. 3.8 Porovnanie histogramu s teoretickým normálnym rozdelením pre štatistický súbor získaný 12.1.2017 2:00-3:00.

Štatistický súbor bol testovaný analyticky pomocou testu chí-kvadrát (tiež známy ako Pearsonov test). Testovaná bola hypotéza H_0 -pozorovaná náhodná veličina X má distribučnú funkciu normálneho rozdelenia $F(x)$ proti alternatívnej hypotéze H_1 , že X nemá distribučnú funkciu normálneho rozdelenia $F(x)$. Pre túto analýzu sa obvykle požaduje, aby teoretická absolútna početnosť $\tilde{f}_j > 5$. Pre splnenie tejto podmienky je možné zlúčiť susedné triedy s nízkou hodnotou absolútnej početnosti f_j [33].

Pre splnenie podmienky $\tilde{f}_j > 5$ došlo k zlúčeniu prvých dvoch a posledných troch tried. Tým bol získaný roztriedený štatistický súbor zložený zo 7 tried (viz tab. 3.2) Zlúčenie tried nemá vplyv na rozsah súboru, dĺžku triedy, bodový odhad aritmetického priemeru a bodový odhad smerodajnej odchylky.

Tab. 3.2 Roztriedený štatistický súbor z 12.1.2017 2:00-3:00 po zlúčení tried.

Štatistický súbor 12.1.2017 2:00-3:00							
Rozsah n [-]:	300						
Počet tried [-]	7						
Dĺžka triedy [mm]	$1,5 \cdot 10^{-4}$						
Bodový odhad aritmetického priemeru \bar{x} [mm]:	6,49504						
Bodový odhad smerodajnej odchylky s [mm]:	$2,3031 \cdot 10^{-4}$						
x_j^*	6.494525	6.494675	6.494825	6.494975	6.495125	6.495275	6.495425
x_{jmin}	$-\infty$	6.4946	6.49475	6.4949	6.49505	6.4952	6.49535
x_{jmax}	6.4946	6.49475	6.4949	6.49505	6.4952	6.49535	∞
f_j	7	34	36	74	58	79	12

Testovaná bola hypotéza, že náhodná veličina X má normálne rozdelenie pravdepodobnosti $N(6,49504;(2,3031 \cdot 10^{-4})^2)$. Z-skóre jednotlivých tried normovaného normálneho rozdelenia $N(0;1)$ bola získaná transformáciou normálneho rozdelenia $N(6,49504;(2,3031 \cdot 10^{-4})^2)$ pomocou vzťahu (3.10):

$$z_N = \frac{x_{jmax} - \bar{x}}{s} [-] \quad (3.10)$$

kde z_N je Z-skóre.

Z-skóre triedy 1, po dosadení do (3.10) je:

$$z_{N1} = \frac{6,4946 - 6,495}{2,3031 \cdot 10^{-4}} = -1,904 [-]$$

Hodnoty distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia $\Phi(z_N)$ boli získané pomocou funkcie tabuľkového procesoru Excel "NORMSDIST()" a sú uvedené v tab. 3.3. Tieto hodnoty je možné nájsť aj v tabuľke hodnôt distribučnej funkcie štandardizovaného normálneho rozdelenia $N(0;1)$.

Tab. 3.3 Hodnoty distribuční funkcie normovaného normálneho rozdelenia $\Phi(z_N)$.

	Trieda 1	Trieda 2	Trieda 3	Trieda 4	Trieda 5	Trieda 6	Trieda 7
$z_N [-]$	-1.9040	-1.2527	-0.6014	0.0499	0.7012	1.3525	∞
$\Phi(z_N) [-]$	0.0285	0.1052	0.2738	0.5199	0.7584	0.9119	1

Teoretické absolútne početnosti boli určené použitím rovnice (3.11):

$$\tilde{f}_j = n \cdot (\Phi(z_{Nj}) - \Phi(z_{N(j-1)})) [-] \quad (3.11)$$

Kde \tilde{f}_j je teoretická absolútna početnosť,

$\Phi(z_{Nj})$ je hodnota distribuční funkcie normovaného normálneho rozdelenia.

Po dosadení do (3.11) pre triedu 1:

$$\tilde{f}_1 = 300 \cdot (0,0285 - 0) = 8,5374 [-]$$

Vypočítané hodnoty f_i a \tilde{f}_i pre jednotlivé triedy sú uvedené v tab. 3.4.

Tab. 3.4 Hodnoty absolútnej početnosti a teoretickej absolútnej početnosti pre každú z tried štatistického súboru z 12.1.2017 2:00-3:00.

Štatistický súbor 12.1.2017 2:00-3:00					
Trieda	x_{jmin}	x_{jmax}	f_j	\tilde{f}_j	$\frac{(f_j - \tilde{f}_j)^2}{\tilde{f}_j}$
1	$-\infty$	6,4946	7	8,5374	0,2769
2	6,4946	6,49475	34	23,0121	5,2466
3	6,49475	6,4949	36	50,5902	4,2078
4	6,4949	6,49505	74	73,8339	0,0004
5	6,49505	6,4952	58	71,5523	2,5669
6	6,4952	6,49535	79	46,0429	23,5904
7	6,49535	∞	12	26,4312	7,8793
Σ			300	300	43,7681

Pozorovaná hodnota testovaného kritéria je podľa (3.12):

$$t = \sum_{j=1}^m \frac{(f_j - \tilde{f}_j)^2}{\tilde{f}_j} = 43,7681 [-] \quad (3.12)$$

Kde t je hodnota testovaného kritéria.

Počet stupňov voľnosti Pearsonovho rozdelenia je podľa (3.13):

$$k = m - q - 1 = 7 - 2 - 1 = 4 [-] \quad (3.13)$$

Kde k je počet stupňov voľnosti,

q je počet odhadovaných parametrov hypotetického rozdelenia.

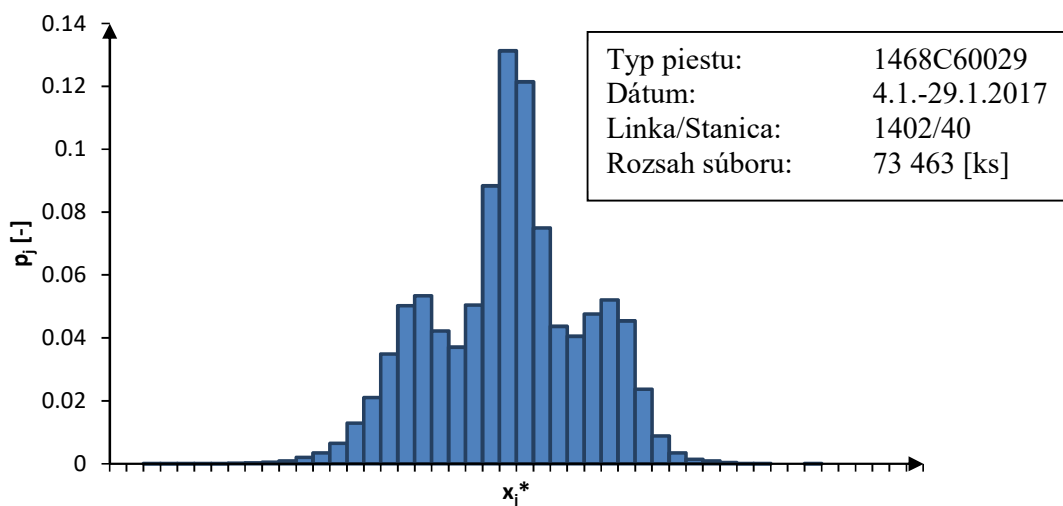
Hypotéza bola testovaná na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, preto bola v tabuľke kvantilov Pearsonovho rozdelenia $\chi^2(k)$ nájdená hodnota pre $1-\alpha = 0,95$ kvantil Pearsonovho rozdelenia pre $k = 4$ stupne voľnosti:

$$\chi_{0,95}^2(4) = 9,488 [-]$$

Kde $\chi_{0,95}^2$ je hodnota 0,95-kvantilu Pearsonovho rozdelenia.

Doplnok kritického oboru $\overline{W_\alpha}$ je teda interval hodnôt $\langle 0 ; 9,488 \rangle$. Keďže testované kritérium neleža v $\overline{W_\alpha}$, tzn. $t \notin \langle 0 ; 9,488 \rangle$ bola nulová hypotéza H_0 pozorovaná náhodná veličina X má distribučnú funkciu normálneho rozdelenia $F(x)$ **zamietnutá**. Alternatívna hypotéza H_1 pozorovaná náhodná veličina X nemá distribučnú funkciu normálneho rozdelenia $F(x)$ **zamietnutá nebola**.

Tento výsledok nebol očakávaný, preto bol vytvorený histogram všetkých piestov typu 1468C60029, ktoré prešli stanicou Bauman Feedbox v období od 4.1.2017 do 29.1.2017. Histogram je na obr. 3.9. Histogram obsahuje 3 vrcholy, čo je v rozpore s gaussovým rozložením pravdepodobnosti. Neskôr bolo zistené, že v závode vo Feuerbach, kde sú piesty vyrábané, je výrobný proces upravovaný podľa aktuálneho počtu piestov na sklade predmontáže s cieľom dovyrobiť triedu piestov, ktorá v sklade aktuálne chýba.

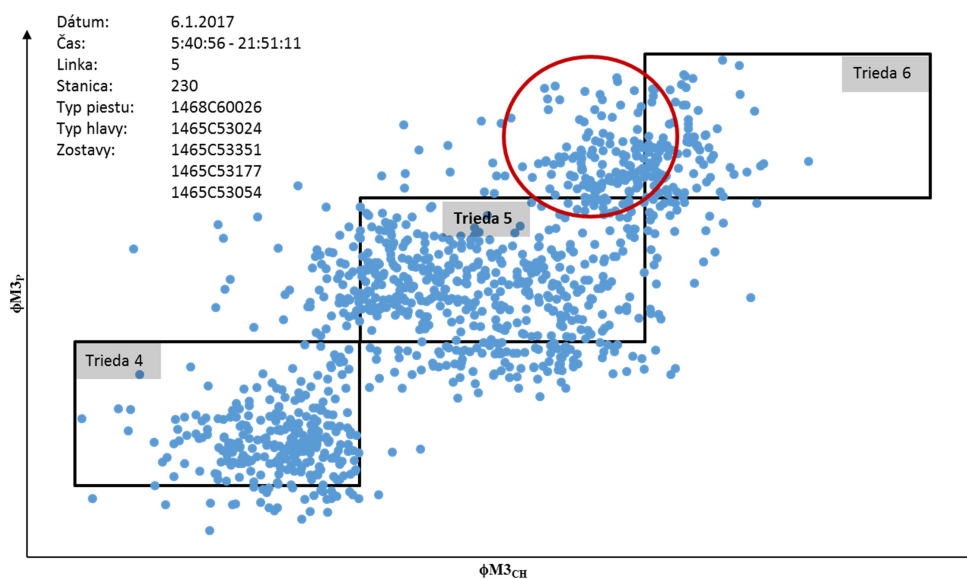


Obr. 3.9 Histogram piestov roztriedených v období od 4.1.2017 do 29.1.2017.

3.6.2 Test hypotézy 2

Priamym sledovaním procesu párovania piestu s hlavou na stanici 230 montážnej linky hláv bolo pozorované, že skúsení pracovníci nedodržiavajú štandardizovaný výrobný postup. Podľa schváleného štandardu má pracovník hlavy a piesty párovať na základe triedy, ktorú určí montážna stanica po zmeraní otvoru hlavy. To znamená, že pokiaľ stanica po premeraní hlavy určí triedu 4, pracovník musí vziať piest z paletky, v ktorom sú uložené piesty triedy 4 a vloží ho do prípravku pre párovanie hlavy s piestom. Následne je priemer piestu zmeraný a pokiaľ sú všetky sledované parametre v požadovanej tolerancii, je piest s hlavou spárovaný. Pokiaľ je niektorý z parametrov mimo toleranciu, pracovník piest vyberie a nahradí ho piestom iným. Skúsení pracovníci, so zámerom navýšiť úspešnosť spárovania na prvý pokus (FPY- First Part Yield), sledujú po odmeraní priemeru hlavy hodnotu $\phi M3_{CH}$, na základe ktorej stanica určuje triedu hlavy. Pokiaľ je nameraná hodnota blízko hornej hranice triedy, pracovník vyberie piest z paletky, ktorá obsahuje piesty o jednu triedu vyššej, ako je trieda hlavy určená párovacou stanicou.

Aby mohla byť potvrdená hypotéza, že obsluha montážnej linky páruje hlavy s piestom inej triedy ako je odporúčené v prípade, že je nameraná hodnota priemeru hlavy blízka hraničnému rozmeru, boli zozbierané dáta z párovacej stanice 230 montážnej linky 5 zo dňa 6.1.2017 v období od 5:40:56 do 21:51:11. Pomocou tabuľkového procesoru boli dáta odfiltrované a vizualizované v grafe, ktorý je na obr. 3.10.



Obr. 3.10 Párovanie piestu s hlavou.

Graf obsahuje 1904 bodov a každý z nich predstavuje prvý pokus spárovania piestu s hlavou, ktorý sa na stanici 230 uskutočnil. Na ose x sú vynesené namerané hodnoty priemeru otvoru hlavy v rovine M3 ($\phi M3_{CH}$) a na ose y hodnoty priemeru piestu v rovine M3 ($\phi M3_P$). Pre zvýšenie prehľadnosti sú v grafe vyznačené oblasti tried 4, 5 a 6. Pokiaľ sa bod nachádza v niektorej z vymedzených oblastí, znamená to, že bol piest spárovaný s

hlavou zhodnej triedy (napr. piest triedy 5 s hlavou triedy 5). Pokiaľ sa bod nachádza mimo vymedzených oblastí, bol piest spárovaný s odlišnou triedou hlavy (napr. piest triedy 6 s hlavou triedy 5).

Vďaka vizualizácii dát je možné pozorovať, že v oblasti triedy 5 sa s rastúcim priemerom otvoru hlavy zvyšuje hustota bodov, ktoré sa nachádzajú mimo vymedzenej oblasti triedy 5. Zhustenie je najvýraznejšie v oblasti vyznačenej červenou farbou, teda na hranici medzi triedou 5 a 6. Zvýšená hustota bodov v tejto oblasti poskytuje dôkaz o tom, že pracovník páruje piesty neštandardným postupom. Neštandardný pracovný postup navyšuje pravdepodobnosť spárovania na prvý pokus a má teda pozitívny vplyv na produktivitu linky. Preto by nebolo správne pracovníkov od postupu odhovárať. Nutné je vytvoriť štandardný postup, ktorý budú môcť využívať všetci, aj menej skúsení pracovníci.

Filtráciou dát s následnou vizualizáciou bolo podozrenie o nedodržiavaní štandardného pracovného postupu potvrdené **nezamietnutím** hypotézy 2.

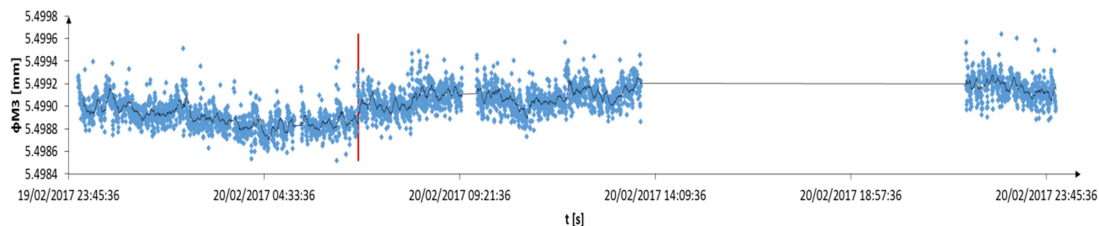
3.6.3 Test hypotézy 3

V čase testovania hypotéz prebiehal v Jihlavskom závode presun celého úseku triedenia piestov z haly 350 do haly 301, čo znemožnilo otestovať hypotézu 3- Existuje rozdiel medzi hodnotou priemeru piestu zmeranej na pracovisku triedenia piestov a na pracovisku predmontáže.

3.6.4 Test hypotézy 4

Pre overenie hypotézy 4 boli skúmané hlavy s označením 1465C53160. Dôvodom pre výber tohoto typu je, že sa jedná o jeden z najväčších rennerov. Náhodne vybraný dátum z obdobia od 14.2.2017 do 28.2.2017 bol deň 20.2.2017, ktorý bol následne rozdelený do 96 15- minútových časových intervalov.

Dňa 20.2.2017 boli od 00:00 do 6:52:00 otvory honované na triedu 4 a po zvyšok dňa na triedu 4+. Tento údaj bol získaný z hodinového sledovania obrábacieho stroja, do ktorého obsluha vyplňa okrem iného informáciu o triede, na ktorú sú aktuálne otvory honované. Následne bola informácia overená vynesiením závislosti nameraných hodnôt $\bar{O} M3_{CH}$ na čase. Závislosť je na obr. 3.11. V získanej závislosti bol spozorovaný výrazný skok nameraných hodnôt v čase 6:52:00, ktorý bol s veľkou pravdepodobnosťou spôsobený práve zmenou nastavenia stroja z triedy 4 na triedu 4+. Obsluha stroja pri zmene triedy spravidla nastavenú hodnotu "doladzuje", preto bol časový úsek od 6:45 do 7:15 vyradený z výberu. Takisto bol z výberu vyradený úsek od 13:45:00 do 21:45:00, keďže v tomto období neboli na stroji vyrábané hlavy 1465C53160.



Obr. 3.11 Záznam z obrábacieho honovacieho stroja.

Po uvedených úpravách zostalo z pôvodných 96 15-minútových časových intervalov 63. Jeden z nich (01:45:00 až 02:00:00) bol náhodne vybraný a dáta, ktoré boli získané počas tohto časového intervalu boli použité pre vytvorenie štatistického súboru. Súbor obsahoval 68 prvkov a bol použitý pre test normality grafickou metódou a metódou chí-kvadrát.

Z neroztriedeného štatistického súboru x_1, \dots, x_n , s rozsahom $n = 68 [-]$ bol vytvorený usporiadaný štatistický súbor $(x_{(1)}, \dots, x_{(n)})$, pre ktorý platí $x_{(i)} \leq x_{(i+1)}$. Po vytvorení usporiadaného štatistického súboru bol určený vhodný počet tried a dĺžka triedy dosadením do vzťahov (3.1) a (3.2):

$$m \approx 1 + 3,3 \cdot \log n = 1 + 3,3 \cdot \log 68 = 7,05 \approx 7 [-]$$

$$h = \frac{x_{(n)} - x_{(1)}}{m} = \frac{5,499233 - 5,498739}{7} = 0,00071 [mm]$$

Po roztriedení bola každej triede priradená absolútna početnosť a z usporiadaného štatistického súboru vznikol súbor roztriedený (x_j^*, f_j) , kde f_j je absolútna početnosť j-tej triedy.

Relatívna početnosť pre každú triedu roztriedeného štatistického súboru bol použitý vzťah (3.4). Napríklad relatívna početnosť triedy 1 roztriedeného štatistického súboru je:

$$p_1 = \frac{f_1}{n} = \frac{5}{68} = 0,0735 [-]$$

Bodový odhad aritmetického priemeru a smerodajnej ochýlky normálneho rozdelenia bol vypočítaný dosadením do vzťahov (3.5) a (3.6).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j \cdot x_j^* = \frac{1}{68} \cdot 373,93 = 5,4989 [mm]$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j \cdot (x_j^* - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{68} \cdot 6,29 \cdot 10^{-7}} = 9,62 \cdot 10^{-5} [\text{mm}]$$

Hodnoty distribučnej funkcie normálneho rozdelenia boli určené pomocou rovnice (3.8). Napríklad pre triedu 1 má táto funkcia hodnotu:

$$F(x_1^*) = \int_{-\infty}^{5,49877} \frac{1}{9,62 \cdot 10^{-5} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-5,4989)^2}{2 \cdot (9,62 \cdot 10^{-5})^2}} dt = 0,0393 [-]$$

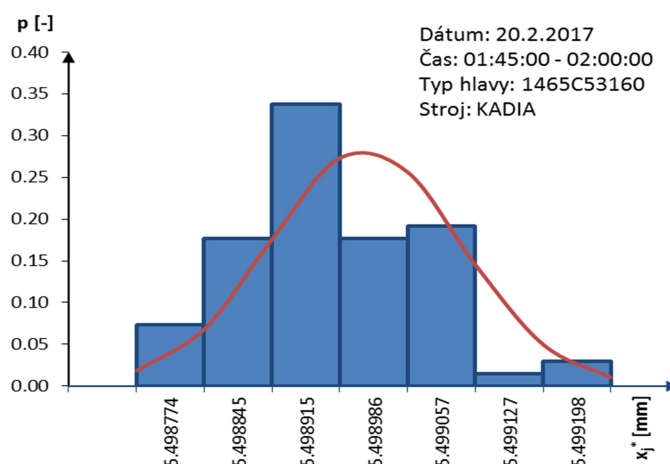
Pre vypočítanie pravdepodobnosti nastúpenia javu p_{Nj} (nameraná hodnota leží v triede x_j^*) pre prípad, že sa skúmané rozdelenie riadi ideálnym normálnym rozdelením bol použitý vzťah (3.9). Napríklad pre triedu 2:

$$p_{N2} = F(x_2^*) - F(x_1^*) = 0,1526 - 0,0393 = 0,1133 [-]$$

Všetky vypočítané hodnoty boli následne vložené do tab. 3.5 a boli použité pre zostrojenie histogramu (viz obr.3.12).

Tab. 3.5 Vypočítané hodnoty potrebné pre zostrojenie histogramu štatistického súboru z 20.1.2017 01:45:00-2:00:00.

Štatistický súbor z 20.2.2017 01:45:00-02:00:00							
Rozsah n [-]:		68					
Počet tried [-]		7					
Dĺžka triedy [mm]		$7,06 \cdot 10^{-5}$					
Bodový odhad aritmetického priemeru \bar{x} [mm]:		5,4989					
Bodový odhad smerodajnej odchylky s [mm]:		$9,62 \cdot 10^{-5}$					
Trieda [-]	Minimum triedy $x_{j\min}$ [mm]	Maximum triedy $x_{j\max}$ [mm]	Stred triedy x_j^* [mm]	Absolútna početnosť f_j [-]	Relatívna početnosť p_j [-]	Hodnota dist. f. $F(x_j^*)$ [-]	Pravde- podobnosť p_{Nj} [-]
1	5.498739	5.498810	5.498774	5	0.0735	0.0393	0.0393
2	5.498810	5.498880	5.498845	12	0.1765	0.1526	0.1133
3	5.498880	5.498951	5.498915	23	0.3382	0.3854	0.2327
4	5.498951	5.499021	5.498986	12	0.1765	0.6709	0.2855
5	5.499021	5.499092	5.499057	13	0.1912	0.8803	0.2093
6	5.499092	5.499162	5.499127	1	0.0147	0.9719	0.0917
7	5.499162	5.499233	5.499198	2	0.0294	0.9959	0.0240



Obr. 3.12 Histogram pre štatistický súbor z 20.2.2017 01:45:00 – 2:00:00.

Analytickou metódou chí- kvadrát bola otestovaná hypotéza, že náhodná veličina X má normálne rozdelenie pravdepodobnosti $N(5,4989; (7,06 \cdot 10^{-5})^2)$. Z skóre jednotlivých tried normovaného normálneho rozdelenia $N(0;1)$ boli získané transformáciou normálneho rozdelenia $N(5,4989; (7,06 \cdot 10^{-5})^2)$ pomocou vzťahu (3.10). Pre výpočet z-skóre triedy 1:

$$z_{N1} = \frac{5,49877 - 5,49894}{7,06 \cdot 10^{-5}} = -1,759 [-]$$

Hodnoty distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia $\Phi(z_N)$ boli získané pomocou funkcie tabuľkového procesoru "NORMSDIST()" a sú uvedené v tab. 3.6. Tieto hodnoty je možné nájsť aj v tabuľke hodnôt distribučnej funkcie štandardizovaného normálneho rozdelenia $N(0;1)$.

Tab. 3.6 Hodnoty distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia $\Phi(z_N)$.

	Trieda 1	Trieda 2	Trieda 3	Trieda 4	Trieda 5	Trieda 6	Trieda 7
Min	$-\infty$	5,49877	5,49885	5,49892	5,49899	5,49913	5,4992
Max	5,49877	5,49885	5,49892	5,49899	5,49906	5,4992	∞
$z_N [-]$	-1,759	-1,025	-0,291	0,442	1,176	1,91	2,644
$\Phi(z_N) [-]$	0.0393	0.1526	0.3854	0.6709	0.8803	0.9719	1

Teoretické absolútne početnosti boli určené použitím vzťahu (3.11). Pre triedu 1:

$$\tilde{f}_1 = 68 \cdot (0,0393 - 0) = 2,6716 [-]$$

Vypočítané hodnoty f_i a \tilde{f}_i pre jednotlivé triedy sú uvedené v tab. 3.7.

Tab. 3.7 Hodnoty absolútnej početnosti a teoretickej absolútnej početnosti pre každú z tried štatistického súboru z 20.2.2017 01:45:00-02:00:00.

Štatistiký súbor z 20.2.2017 01:45:00-02:00:00					
Trieda	x_{jmin}	x_{jmax}	f_j	\tilde{f}_j	$\frac{(f_j - \tilde{f}_j)^2}{\tilde{f}_j}$
1	$-\infty$	5,49877	2	2.6716	0.168835
2	5,49877	5,49885	5	7.7077	0.951236
3	5,49885	5,49892	23	15.8268	3.251120
4	5,49892	5,49899	18	19.4163	0.103304
5	5,49899	5,49906	11	14.2350	0.735170
6	5,49906	5,4992	7	6.2344	0.094006
7	5,4992	∞	2	1.6295	0.084236
Σ			68	68	5.387907

Pozorovaná hodnota testovaného kritéria podľa (3.12) je:

$$t = \sum_{j=1}^m \frac{(f_j - \tilde{f}_j)^2}{\tilde{f}_j} = 5,3879 [-]$$

Počet stupňov voľnosti Pearsonovho rozdelenia podľa (3.13) je:

$$k = m - q - 1 = 7 - 2 - 1 = 4 [-]$$

Hypotéza bola testovaná na hladine významnosti $\alpha = 0,05$, preto bola v tabuľke kvantilov Pearsonovho rozdelenia $\chi^2(k)$ nájdená hodnota pre $1-\alpha = 0,95$ kvantil Pearsonovho rozdelenia pre $k = 4$ stupne voľnosti:

$$\chi_{0,95}^2(4) = 9,488 [-]$$

Doplnok kritického oboru \overline{W}_α je teda interval hodnôt $\langle 0 ; 9,488 \rangle$. Keďže testované kritérium leží v \overline{W}_α , tzn. $t \in \langle 0 ; 9,488 \rangle$, nulová hypotéza H_0 - pozorovaná náhodná veličina X má distribučnú funkciu normálneho rozdelenia $F(x)$ **nebola zamietnutá**.

3.6.5 Test hypotézy 5

Hypotéza optimálneho nastavenia honovacieho stroja $H_0: \mu = \mu_0 = 0$, teda že stredná hodnota odchyľky je nulová, bola testovaná proti dvojstrannej alternatívnej hypotéze $H_1: \mu = \mu_0 = 0$, že stredná hodnota odchyľky je rôzna od nuly na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Pre test hypotézy bol vytvorený štatistický súbor z rovnakých meraní, aké boli použité pre test hypotézy 4.

Stredná hodnota \bar{M}_{3CH} bola vypočítaná pomocou vzťahu (3.5).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m f_j \cdot x_j^* = \frac{1}{68} \cdot 373,93 = 5,4989 \text{ [mm]}$$

Pre odchýlku i-teho merania Δx_i platí vzťah (3.14):

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x} \text{ [mm]} \quad (3.14)$$

Napríklad pre odchýlku prvého merania:

$$\Delta x_1 = x_1 - \bar{x} \text{ [mm]} = 5,499 - 5,4989 = 0,0001 \text{ [mm]}$$

Stredná odchýlka merania bola vypočítaná dosadením do vzťahu (3.5):

$$\overline{\Delta x} = \frac{1}{68} \sum_{i=1}^{68} \Delta x_i = -2,23 \cdot 10^{-15} \text{ [mm]}$$

Smerodajná odchýlka odchýlky merania bola vypočítaná pomocou vzťahu (3.6):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{68} (x_i - 5,4989)^2}{68-1}} = 9,74 \cdot 10^{-5} \text{ [mm]}$$

Pre štatistický súbor s neznámou hodnotou rozptylu σ^2 má pozorovaná hodnota testového kritéria hodnotu:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n-1} = \frac{-2,23 \cdot 10^{-15} - 0}{9,74 \cdot 10^{-5}} \sqrt{68-1} = -1,9 \cdot 10^{-10} \quad (3.15)$$

Hypotéza bola testovaná na hladine významnosti $\alpha = 0,05$ voči obojstrannej alternatívnej hypotéze, preto bola v tabuľke kvantilov Študentovho rozdelenia $S(k)$ s $k = 67$ stupňami voľnosti nájdená hodnota pre $(1 - \frac{0,05}{2})$ - kvantil.

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,994 \text{ [-]}$$

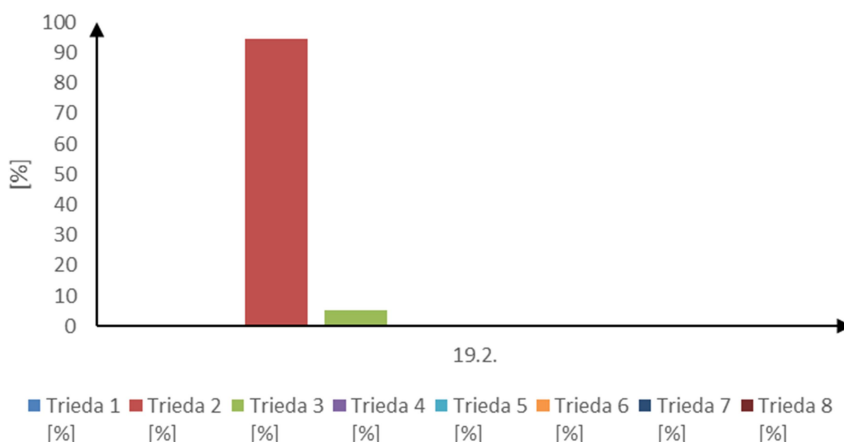
Pre tento typ testu je obecné doplnok kritického oboru \overline{W}_α interval hodnôt $\langle -t_{1-\frac{\alpha}{2}}; t_{1-\frac{\alpha}{2}} \rangle$ a pre tento konkrétny prípad $\overline{W}_\alpha = \langle -1,994; 1,994 \rangle$. Keďže testované kritérium leží v \overline{W}_α , tzn. $-1,9 \cdot 10^{-1} \in \langle -1,994; 1,994 \rangle$. Nulová hypotéza H_0 - Honovací stroj je optimálne nastavený **nebola zamietnutá**.

3.6.6 Test hypotézy 6

Hypotéza, že obsluha honovacích strojov je schopná nastaviť nominálnu hodnotu priemeru otvoru na stroji Kadia tak, aby vozík s hlavami obsahoval výhradne hlavy požadovanej

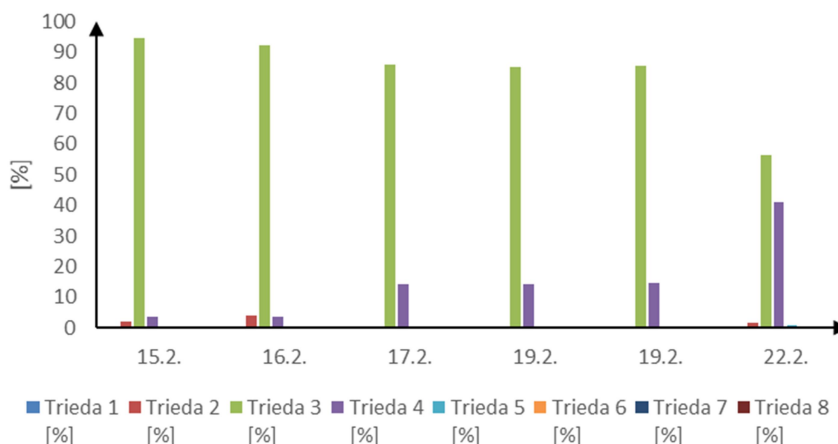
triedy bola otestovaná v období od 14.2.2017 do 27.2.2017 na type 1465C53160 následujúcim spôsobom:

- rozmerová trieda, na ktorú honovací stroj hlavy honoval, bola obsluhou stroja zapisovaná do tabuľky hodinového sledovania,
- v systéme OIS.net pre nemontážne procesy boli dohľadané identifikačné čísla všetkých hláv, ktoré boli v každom časovom úseku honované,
- v systéme OIS.net pre montážne procesy bola na základe identifikačného čísla dohľadaná trieda hlavy, ktorá bola hlave pridelená na stanici párovania,
- pre každý časový úsek bol určený podiel vyrobených hláv ktoré boli zaradené do jednotlivých tried,
- získané výsledky boli usporiadané do tabuľky (príloha 3) a vynesené do grafov, ktoré sú na obr. 3.13 až obr. 3.19.



Obr. 3.13 Honovanie na triedu 2+.

Pri honovaní na triedu 2+ bolo 95 % hláv obrobených na triedu 2 a len 5 % na triedu 3. Hlavy teda neboli obrobené podľa očakávania. Triedy menšie ako 3 sú požadované len výnimočne v prípade, že sa na sklade piestov nahromadí veľké množstvo piestov triedy 1 a 2. V takom prípade sa honovací stroj jednorázovo nastaví tak, aby obrábal na tieto extrémne malé rozmerové triedy. Obsluha honovacích strojov v takomto prípade nemôže pri nastavovaní nominálnej hodnoty ťažiť zo svojich skúseností, preto vykonáva referenčné meranie na externom zariadení Stotz častejšie, ako káže štandard. Vďaka tomu sa pracovníkovi podarilo hlavy obrobiť na triedu 2 s presnosťou 95 %.



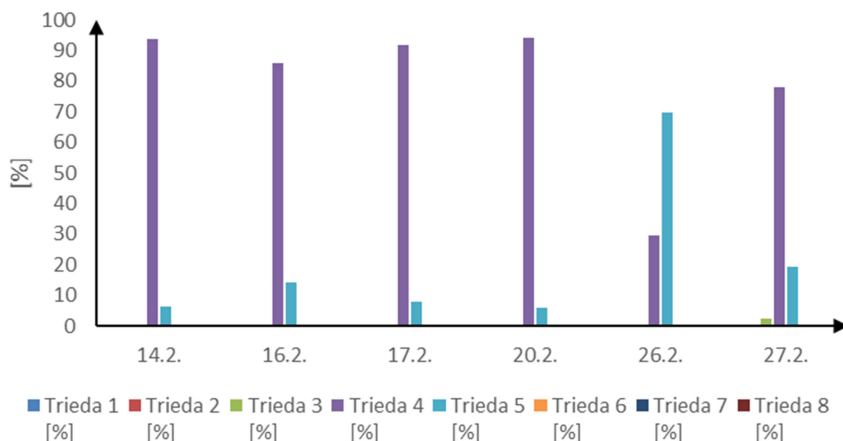
Obr. 3.14 Honovanie na triedu 3.

Viac informácií podáva obr. 3.14, ktorý zobrazuje honovanie na triedu 3 počas šiestich časových úsekov. V piatich prípadoch podiel hláv triedy 3 prevyšuje 85 % z celkového počtu obrobenej hláv v danom časovom úseku a zvyšné percentá sú rozdelené medzi susedné triedy 2 a 4. Výnimkov je časový úsek z 22. februára, kedy bolo vyrobených 56 % hláv triedy 3, 41 % hláv triedy 4 a zvyšné 3 % boli rozdelené medzi triedy 2 a 5.



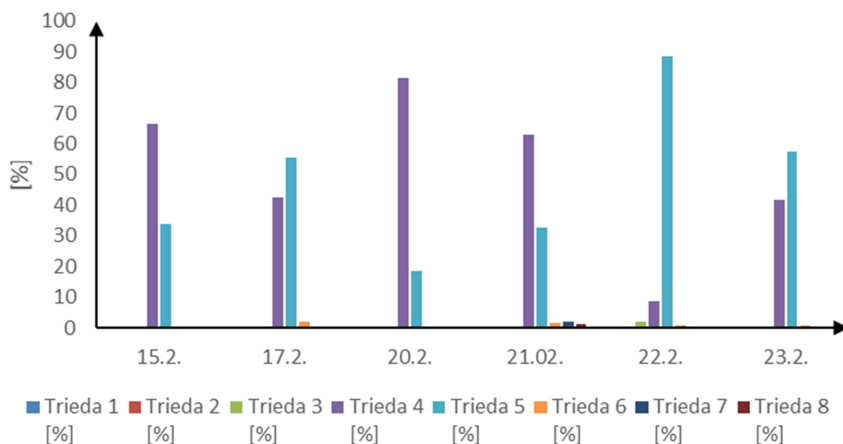
Obr. 3.15 Honovanie na triedu 3+.

Na obr. 3.15 je zachytený typický prípad honovania na triedu 3+, tzv. „malé štvorky“, ktoré prebehlo 14.2. Napriek tomu, že sa nejedná o štandardizovanú triedu, je takýto typ honovania v poriadku, pretože pracovník ktorý stroj nastavil, dostal výsledok, ktorý požadoval- 68 % väčších hláv triedy 4 a 32 % menších hláv triedy 3. Horší výsledok bol získaný pri honovaní, ktoré prebehlo 22. februára a pri ktorom podiel hláv triedy 3 činil 85 %, čo je typické pre honovanie na triedu 3.



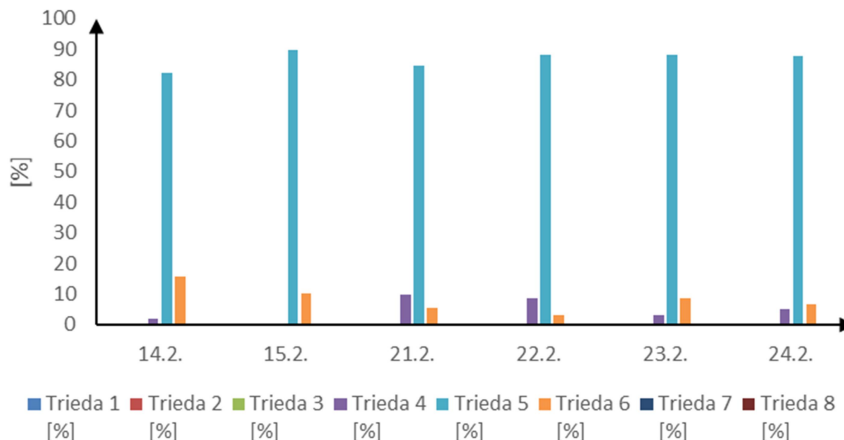
Obr. 3.16: Honovanie na triedu 4.

Pri honovaní na triedu 4 bol v piatich prípadoch podiel hláv obrobených na triedu 4 vyšší ako 78 %. Výnimkov bol deň 26.2., kedy bolo vyrobených len 30 % hláv na triedu 4, zvyšných 70 % na triedu 5.



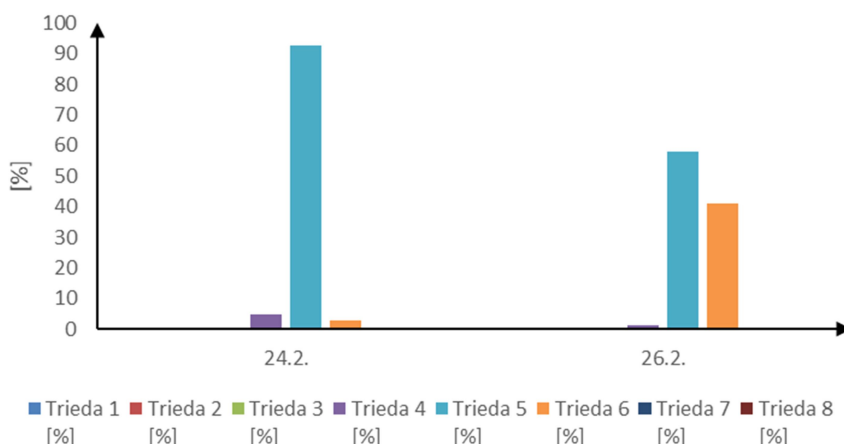
Obr. 3.17 Honovanie na triedu 4+.

V grafe, ktorý zobrazuje honovanie na triedu 4+ je zaujímavý časový úsek zo dňa 21.2. Podiel triedy 4 a 5 (63 % a 33 %) síce odpovedá neštandardnej triede 4+, zaznamenané však boli aj hlavy tried 6, 7 a 8, ktorých podiel tvoril 4 %, čo predstavuje 116 hláv obrobených na úplne odlišnú triedu, ako bolo mienené. Navyše 258 hláv nebolo možné dohľadať v databáze OIS.net pre montážne procesy ani mesiac po ich obrobení, čo znamená, že boli zablokované a ani po mesiaci neprešli procesom párovania. Jedná sa teda o situáciu, ktorá nieje bežná. Ďalším zaujímavým úsekom je opäť 22. február, kedy bol podiel triedy 4 len 8 % a až 87 % hláv bolo obrobených na triedu 5, čo neodpovedá očakávaniam.



Obr. 3.18 Honovanie na triedu 5.

Pri honovaní na triedu 5 bol dosiahnutý vo všetkých prípadoch požadovaný cieľ keďže v každom časovom úseku bol podiel hláv triedy 5 väčší ako 82 %. Zvyšné percentá sú rozložené medzi susedné triedy, čo je optimálny stav.



Obr. 3.19 Honovanie na triedu 5+.

Neštandardná trieda 5+ je rovnako ako trieda 2+ menej obvyklá, preto je v prípade z 24.2. podiel hláv triedy 5 až 92 %. Lepší výsledok bol dosiahnutý 26.2., kedy bol pomer medzi hlavami triedy 5 a 6 60 ku 40.

Získané grafy poskytli dostatok informácií na to, aby bolo možné hypotézu, že obsluha honovacích strojov je schopná nastaviť nominálnu hodnotu priemeru otvoru na stroji Kadia tak, aby vozík s hlavami obsahoval výhradne hlavy požadovanej triedy **zamietnuť**. V žiadom časovom úseku neboli obrobené hlavy len jednej triedy. Na druhú stranu bolo zistené, že je možné dosiahnuť viac ako 80% zhody medzi požadovanou a skutočnou triedou hlavy a že zvyšných 20 % je rozložených do susedných tried. Výnimku tvorí len

deň 21.2.2017, kedy bolo 258 kusov hláv zablokovaných a pravdepodobne došlo k poruche stroja a 22.2.2017, kedy príčina nezhody medzi skutočnosťou a očakávaním zistená nebola.

3.6.7 Test hypotézy 7

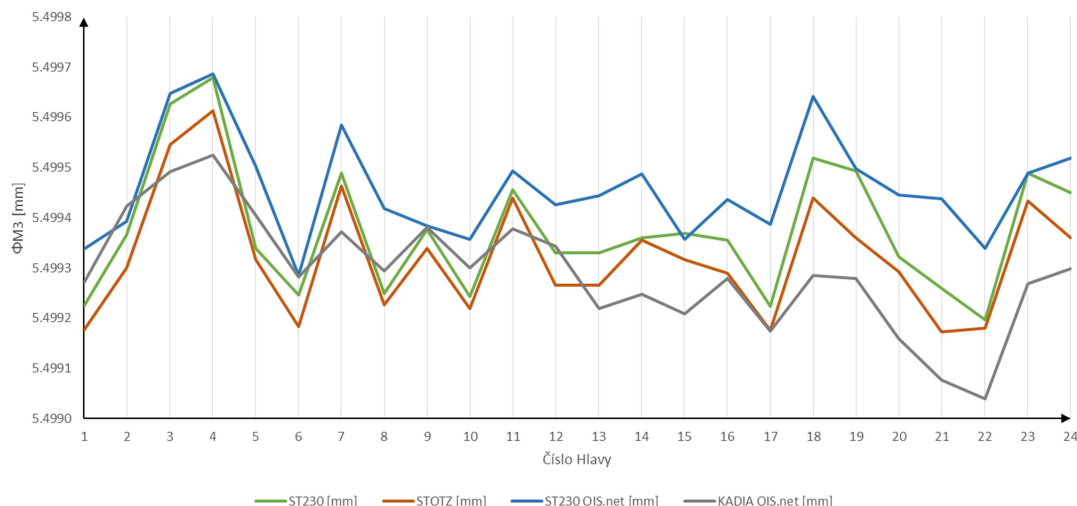
Hypotéza 7 tvrdí, že existuje rozdiel vo výsledkoch získaných z meraní priemeru otvoru hlavy, ktoré prebieha na 3 rôznych staniciach. Najprv na úseku obrábania hláv, kde je každý vyrobený kus zmeraný strojom Kadia ihneď po dokončení poslednej operácie honovania, následne je vykonané referenčné meranie na zariadení Stotz, ktoré sa nachádza mimo pracovný priestor obrábacieho stroja a nakoniec na úseku montáže hláv, kde je priemer otvoru zmeraný prístrojom Stotz pred spárovaním s piestom.

Na úseku obrábania sú merané hlavy znečistené rezným médiom a ďalšími nečistotami. Tie sú z hláv odstránené až po vykonaní meraní. Naopak na úsek montáže prichádzajú vyprané hlavy, ktoré sú zbavené nečistôt. Rozdielna je takisto teplota dielu, nakoľko montážna linka je umiestnená do klimatizovaného priestoru, v ktorej je počas roka udržiavaná stála teplota. Tá môže byť v letných mesiacoch až o 10 stupňov nižšia, ako je teplota na úseku obrábania hláv. Pre otestovanie hypotézy boli vykonané merania v období od 5.4.2017 do 13.4.2017.

Cieľom merania bolo porovnať hodnoty priemeru otvoru získané z honovacieho stroja, zo stanice Stotz, na ktorej prebieha referenčné meranie a zo stanice Stotz, ktorá je súčasťou montážnej linky. Meraných bolo 12 kusov hláv v dňoch 5.4., 6.4., 7.4., 10.4. počas rannej a poobednej zmeny. 24 kusov hláv bolo zmeraných 13.4. Meranie prebehlo následujúcim spôsobom:

- Hlavy typu 1465C53160 boli vybrané priamo zo zásoby pred montážnou linkou 7 a boli zmerané na stanici Stotz, ktorá je súčasťou tejto linky. Každá hlava bola zmeraná trikrát a bol vypočítaný aritmetický priemer. Po zmeraní bol naskenovaný DMC kód každej hlavy,
- Rovnaké hlavy boli prenesené na úsek obrábania hláv a boli zmerané na stanici Stotz, na ktorom prebieha referenčné meranie pri obrábaní hláv,
- Na základe DMC kódov boli hlavy vyhľadane v databázovom systéme OIS.net pre nemontážne procesy, v ktorom sú uložené záznamy z meraní, ktoré vykonal obrábací stroj Kadia,
- Na základe DMC kódov boli hlavy vyhľadane v databázovom systéme OIS.net pre montážne procesy, v ktorom sú uložené záznamy z meraní, ktoré vykonala stanica Stotz tesne pred spárovaním hlavy s piestom.

Získané hodnoty boli vyplnené do tabuľky a vynesené do grafov. Na obr. 3.20 je grafická závislosť vytvorená z dát, ktoré boli získané dňa 13.4.2017.



Obr. 3.20 Namerané hodnoty z 13.4.2017.

Následne bola vykonaná štatistická interpretácia rozdielu hodnôt získaných meraním na stanici Stotz umiestnenej na úseku montáže hláv a na stanici Stotz umiestnenej na úseku obrábania hláv. Určený bol dvojstraný konfidenčný interval strednej hodnoty pre konfidenčnú úroveň $(1-\alpha) = 0,95$ a dvojstranný štatistický tolerančný interval pre konfidenčnú úroveň $(1-\alpha) = 0,95$ a pre podiel súboru $p = 0,9$.

Odhad strednej hodnoty bol vypočítaný pomocou vzťahu (3.5):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{24} \cdot 1,264 = 0,05 [\mu m]$$

A odhad smerodatnej odchýlky:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{24-1} 0,02} = 0,03 [\mu m] \quad (3.40)$$

Dolná a horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty bola vypočítaná pomocou vzťahov uvedených v [33]:

$$m_d = \bar{x} - t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,05 - 2,069 \frac{0,02}{\sqrt{24-1}} = 0,03 [\mu m] \quad (3.41)$$

$$m_h = \bar{x} + t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,05 + 2,069 \frac{0,02}{\sqrt{24-1}} = 0,07 [\mu m] \quad (3.42)$$

Kde: m_d je dolná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty,

m_h je horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty,

$t_{1-\frac{0,05}{2}}$ je hodnota 0,975 kvantilu študentovho rozdelenia.

Dolná a horná medza štatistického tolerančného intervalu bola vypočítaná pomocou vzťahov uvedených v [35]:

$$L_d = \bar{x} - k_7 \cdot s = 0,05 - 2,31 \cdot 0,02 = -0,02 [\mu m]$$

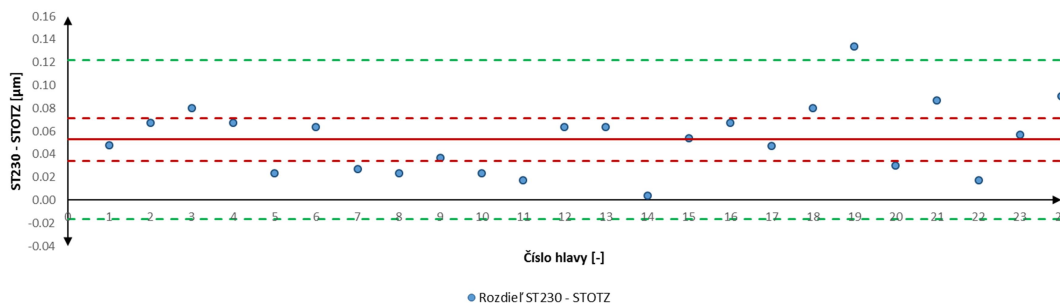
$$L_h = \bar{x} + k_7 \cdot s = 0,05 + 2,31 \cdot 0,02 = 0,12 [\mu m]$$

Kde: L_d je dolná medza tolerančného intervalu,

L_h je horná medza tolerančného intervalu,

k_7 je hodnota tolerančného koeficientu pre normálne rozdelenie.

Vypočítané hodnoty boli vynesené do grafu, ktorý je na obr. 3.21. Zelenou prerušovanou čiarou sú vyznačené medze štatistického tolerančného intervalu, červenou prerušovanou čiarou medze konfidenčného intervalu strednej hodnoty a červenou plnou čiarou bodový odhad strednej hodnoty rozdielu merania.



Obr. 3.21 Rozdiel hodnôt nameraných na stanici Stotz na úseku montáže a úseku obrábania hláv.

Priemerná odchylka medzi stanicami Stotz je $0,05 \mu m$ a 90 % nameraných hodnôt sa bude vzájomne líšiť o menej ako $0,12 \mu m$. Takýto rozdiel je zanedbateľný a preto je možné považovať merania na dvoch rozdielnych staniaciach za identické.

Rovnakým spôsobom boli porovnané aj hodnoty získané meraním priamo na stroji Kadia po obrobení otvorov a hodnoty získané meraním na stanici Stotz, ktoré je umiestnené na úseku obrábania hláv. Nutné je však podotknúť, že stroj Kadia meria hlavy znečistené rezným médiom a inými nečistotami, zatiaľ čo na stanici Stotz boli kusy merané po vypraní a vychladnutí.

Odhad strednej hodnoty rozdielu bol vypočítaný pomocou vzťahu (3.16)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{24} \cdot 0,726 = 0,03 [\mu m] \quad (3.16)$$

Odhad smerodatnej odchýlky dosadením do vzťahu (3.17):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{24-1} \cdot 0,195} = 0,092 [\mu m] \quad (3.17)$$

Dolná a horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty:

$$m_d = \bar{x} - t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,03 - 2,069 \frac{0,092}{\sqrt{24-1}} = -0,03 [\mu m] \quad (3.18)$$

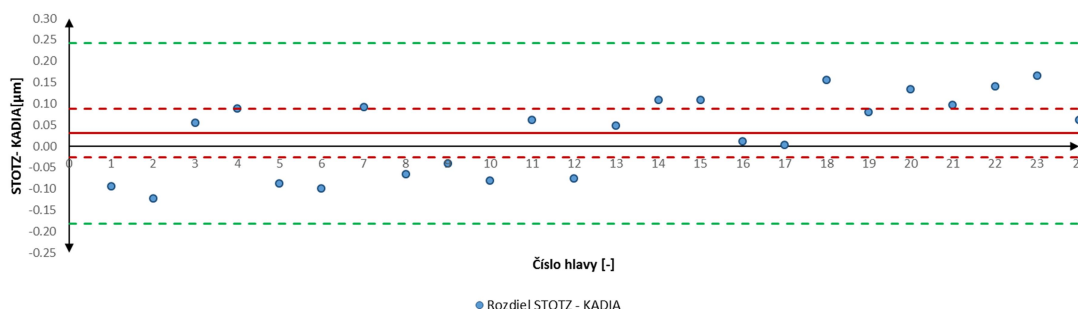
$$m_h = \bar{x} + t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,03 + 2,069 \frac{0,092}{\sqrt{24-1}} = 0,09 [\mu m] \quad (3.19)$$

Dolná a horná medza štatistického tolerančného intervalu:

$$L_d = \bar{x} - k_7 \cdot s = 0,03 - 2,31 \cdot 0,092 = -0,18 [\mu m] \quad (3.20)$$

$$L_h = \bar{x} + k_7 \cdot s = 0,03 + 2,31 \cdot 0,092 = 0,24 [\mu m] \quad (3.21)$$

Vypočítané hodnoty boli vynesené do grafu, ktorý je na obr. 3.22. Zelenou prerušovanou čiarou sú opäť vyznačené medze štatistického tolerančného intervalu, červenou prerušovanou čiarou medze konfidenčného intervalu strednej hodnoty a červenou plnou čiarou bodový odhad strednej hodnoty rozdielu merania.



Obr.3.22: Rozdiel hodnôt nameraných na honovacom stroji Kadia a na stanici Stotz na úseku obrábania hláv.

Priemerná odchylka medzi meraním na stroji Kadia je $0,03 \mu m$ a 90 % nameraných hodnôt sa vzájomne líši o menej ako $0,25 \mu m$. Táto hodnota predstavuje takmer polovicu triedy a preto nieje zanedbateľná. Preto je referenčné meranie na stanici Stotz, ktoré sa od meraní na montážnej linke líši maximálne o desatinu mikrometra, opodstatnené.

Obdobne boli spracované výsledky získané zo všetkých meraní. Bodový odhad, hranice konfidenčného intervalu strednej hodnoty a tolerančného intervalu sú uvedené v tab. 3.8.

Tab. 3.8 Vypočítané hodnoty bodového odhadu, hraníc konfidenčného intervalu strednej hodnoty a tolerančného intervalu.

	Stotz montáž – Stotz obrábanie					Kadia – Stotz obrábanie				
	\bar{x} [μm]	m_d [μm]	m_h [μm]	l_d [μm]	l_h [μm]	\bar{x} [μm]	m_d [μm]	m_h [μm]	l_d [μm]	l_h [μm]
5.4.2017	0	-0,03	0,03	-0,12	0,12	0,18	0,16	0,2	0,09	0,028
6.4.2017	0	-0,01	0,01	-0,05	0,04	0,05	0	0,11	-0,17	0,28
7.4.2017*	-0,11	-0,14	-0,09	-0,21	-0,01	0,18	0,15	0,21	0,04	0,32
10.4.2017 Ráno	0,04	0,01	0,07	-0,1	0,18	0,18	0,13	0,22	0	0,36
10.4.2017 Poobede	0,02	0	0,03	-0,05	0,09	-0,12	-0,18	-0,06	-0,37	0,12
13.4.2017	0,05	0,03	0,07	-0,02	0,12	0,03	-0,03	0,09	-0,18	0,24

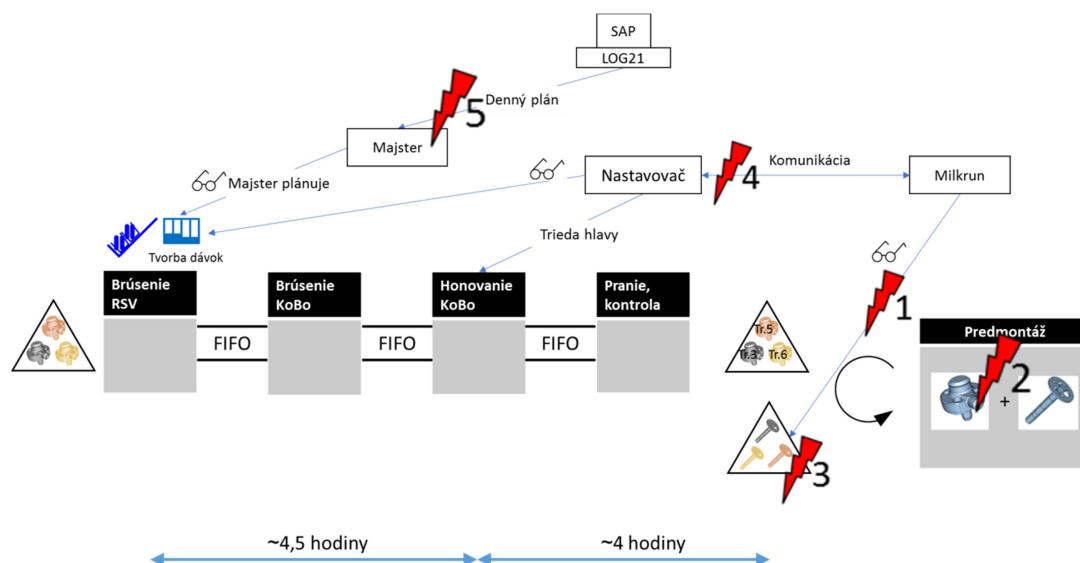
Stredná hodnota rozdielu medzi hodnotami nameranými na zariadeniach Stotz blížiac sa nule a úzky tolerančný interval svedčí o tom, že výsledky meraní získané na týchto dvoch staniciach je pre potreby štúdie možné považovať za identické. Najväčší rozdiel bol pozorovaný dňa 7.4.2017. V tento deň však nebolo meranie na stanici Stotz, ktoré je súčasťou montážnej linky opakované tri krát, ale bolo vykonané iba raz. To mohlo výrazným spôsobom ovplyvniť výsledky pozorovania. Zvyšných 5 meraní prebehlo bez komplikácií, preto sú hodnoty z nich získané smerodajné.

Stredná hodnota rozdielu medzi hodnotami nameranými na honovacom stroji a na stanici Stotz, ktoré je umiestnené na úseku obrábania hláv je premenlivá, pohybuje sa od -0,12 μm až do 0,18 μm. Rozdiel medzi nameranými hodnotami dosahuje až 0,37 μm. Z uvedeného vyplýva, že merania honovacieho stroja a merania stanice Stotz nieje možné považovať za identické.

3.7 Zhodnotenie súčasného stavu výroby

Výroba hláv pre čerpadlo CP4 dosahuje aj pri súčasnom spôsobe riadenia výroby výrazne vyšších hodnôt celkovej efektivity výroby OEE ako vedúci závod vo Feuerbach. Rovnako je to s First Part Yield (FPY), teda podielom dielov, ktoré úspešne prejdú podprocesom párovania piestu s hlavou na prvý pokus. FPY v závode Jihlava sa pohybuje v rozmedzí od 93 % až 98 %.

Napriek tomu bol vďaka analýze súčasného stavu objavený potenciál pre zlepšenie. Úzke miesta výrobného procesu boli vyznačené do zjednodušeného hodnotového toku tzv. procesnými bleskami (viz obr. 3.23).



Obr. 3.23 Zjednodušený hodnovový tok na úseku obrábania hláv s vyznačenými úzkymi miestami.



Je nutné vykonávať pravidelnú inventúru piestov:

- Na úseku montáže hláv je každý deň vykonávaná manuálna inventúra piestov uložených v sklade. Podľa štandardu by mala byť inventúra vykonávaná každú zmenu, z dôvodu časovej tiesne je vykonávaná len v ranných hodinách.
- Manuálna inventúra piestov je vykonávaná v časovej tiesni, spravidla na konci nočnej zmeny zásobovačom montážnych liniek. Na presnosť informácií môže mať výrazný vplyv únava pracovníka.
- Do skladu piestov materiál neustále pribúda zo strany triedenia piestov a naopak je spotrebúvaný linkami predmontáže. Stav zistený na konci nočnej zmeny v žiadnom prípade neplatí počas poobednej a nasledujúcej nočnej zmeny.
- Inventúra je proces, ktorý nepredstavuje pridanú hodnotu pre koncového zákazníka a je považovaná za plýtvanie.



Nedodržiavanie pracovného postupu pri párovaní hlavy s piestom.



Nerovnomerná spotreba piestov:

- Nieje definované minimum a maximum piestov, ktoré môžu byť uložené na sklade predmontáže. Preto sa často stáva, že sa zásoba piestov niektorej z tried vyčerpá až „do dna”. To vedie výrobných pracovníkov k produkcii hláv neštandardných tried 3+, 4+, 5+ a pod. Táto situácia bola popísaná už v kapitole 3.5.
- Piesty v okrajových triedach (1,2,7,8) s na sklade uložené roky.



Nízka transparentnosť a miera vizualizácie:

- Nastavovačovi na úseku obrábania hláv chýbajú informácie o počte kusov piestov v jednotlivých triedach, ktoré sú uložené v sklade predmontáže.
- Zvyčajne nieje stanovené, koľko kusov hláv má byť obrobených na požadovanú triedu- chýbajú reakčné limity,
- Milkrun nemá prehľadné informácie o počte a triedach hláv, ktoré sú uložené v sklade na úseku predmontáže, prípadne sa nachádzajú na OP40.
- V prípade, že sa náhle zmení výrobný plán montážnej linky čerpadiel, je úsek predmontáže nútený spárovať hlavy s iným typom piestu, ako Milkrun pôvodne zamýšľal. O tejto zmene nieje informovaný nastavovač obrábacieho stroja pre OP30, na ktorom sú naďalej obrábané hlavy podľa pôvodných informácií. Do skladu predmontáže teda prichádzajú hlavy honované na rozmer, pre ktorý už nie sú na sklade piesty vhodnej triedy (boli využité v kombinácii s iným typom hláv). Obrobené hlavy v takomto prípade zostanú vo vstupnom sklade predmontáže ležať až do chvíle, kedy sa zásoba piestov požadovanej triedy nedoplní.
- Nízka transparentnosť zakrýva chyby v riadení výroby na úseku obrábania hláv, predovšetkým pri riadení triedy, na ktorú má byť otvor hlavy honovaný. V prípade, že sú vyrobené hlavy, pre ktoré nie sú na sklade predmontáže vhodné piesty, nieje možné identifikovať príčinu vzniku tohoto problému (príčinou môže byť nepresnosť merania, zmena plánu výroby, nesprávne nastavená nominálna hodnota otvoru na stroji Kadia, nedorozumenie medzi nastavovačom a Milkrunom a podobne). To vedie k potlačeniu miery osobnej zodpovednosti pracovníkov, ktorí tento proces riadia.
- Znížená transparentnosť znemožňuje rozvíjať riadenie procesu obrábania hláv.



Centralizovaný spôsob riadenia procesu:

- Proces je riadený na základe denného výrobného plánu montážnej linky.
- Stáva sa, že sú vyrábané hlavy, pre ktoré na sklade nieje dostatočný počet piestov. Tieto hlavy sú následne uložené v sklade predmontáže, kým nie sú piesty do skladu doplnené.
- Spôsob riadenia neumožňuje optimalizáciu medzioperačných zásob kvôli jeho nízkej transparentnosti.

Pomocou štatistickej analýzy boli odhalené viaceré skryté poznatky, ktoré je možné zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Do závodu v Jihlave neprichádza stabilné množstvo piestov každej triedy. Preto nie je možné odhadnúť, aké % z objednaných piestov bude klasifikovaných ako piest požadovanej triedy. Napríklad z 1000 objednaných piestov môže byť v jeden deň 700 kusov zaradených do triedy 5 a zvyšných 300 rozdelených do zvyšných tried a v iný deň môže byť do triedy 5 zaradených iba 300 kusov a zvyšných 700 do iných tried.
- Software, ktorý podporuje obsluhu párovacej stanice montážnej linky zlyháva, pokiaľ je priemer otvoru hlavy na hranici dvoch tried.
- Rozmer honovaných otvorov hláv sa riadi normálnym rozdelením, najviac obrobených hláv je preto nahonovaných na stred požadovanej triedy. Rozpätie skúmaného súboru bolo $0,5\ \mu\text{m}$, čo je menej ako šírka jednej triedy.
- Za bežných okolností je možné nastaviť obrábací stroj tak, aby obrobil viac ako 80 % hláv na triedu, aká je požadovaná.
- Odchylka medzi meraniami priemeru otvoru hláv na stanici Stotz úseku obrábania a stanici Stotz montážnej linky je zanedbateľná.
- Hodnoty priemeru otvoru hláv merané na stroji Kadia sa líšia od hodnôt nameraných na oboch staniciach Stotz v rozsahu od 0 do $0,4\ \mu\text{m}$. Referenčné meranie na stanici Stotz je opodstatnené, nakoľko prispieva k tomu, že nastavovač dokáže otvory honovať na požadovaný rozmer s vysokou úspešnosťou.
- Miera znečistenia hlavy a zvýšená teplota dielu nemá zásadný vplyv na odchýlku v nameraných hodnotách priemeru otvoru na stroji Kadia.

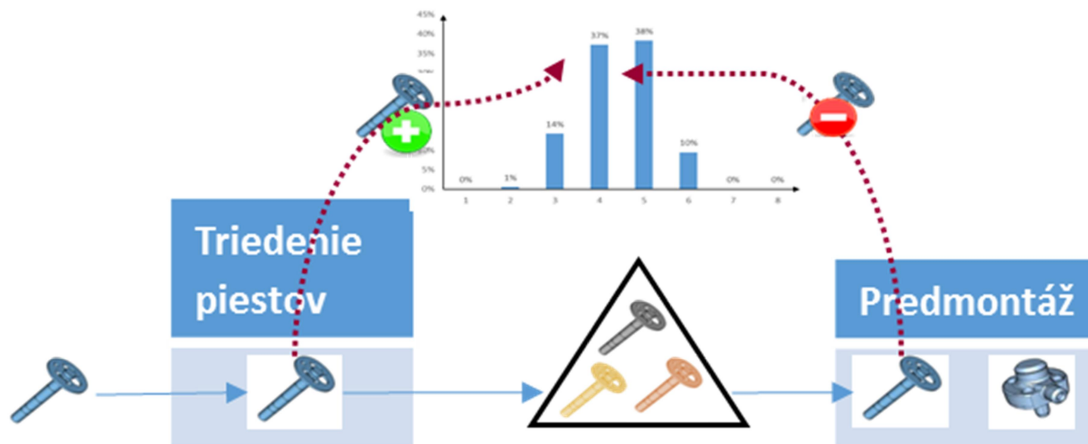
4 INOVÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU

Zmapovaním súčasného stavu výroby bol odhalený potenciál pre zlepšenie. Nedostatky boli zmienené už v predchádzajúcej kapitole a na obr. 3.23 sú zaznačené do zjednodušenej mapy hodnotového toku pomocou tzv. procesných bleskov. Následujúca kapitola obsahuje viaceré návrhy, ktoré výraznou mierou prispievajú k odstráneniu úzkych miest procesu.

4.1 Automatická inventúra piestov

Inventúra piestov je typickým príkladom plýtvania, preto je treba čas strávený touto aktivitou minimalizovať. Na druhú stranu, aby bolo možné rozhodnúť, na akú triedu honovať otvory hláv musí byť známy aktuálny počet piestov na sklade v každej triede. Aby bola zaručená aktuálnosť informácií, musí byť inventúra vykonaná tesne pred tým, ako sú určené triedy, na ktoré budú hlavy počas nadechádzajúcej zmeny honované. To znamená, že inventúru je nutné vykonať minimálne trikrát za deň. Aby bol skrátený čas strávený inventúrou, bol zavedený nový spôsob počítania- pracovník ráta len počet prepravných boxov s piestami a do boxov nenahliada. Čiastočne naplnené boxy sú teda počítané ako boxy plné, čo vnáša do procesu istú mieru nepresnosti. Časová úspora však umožňuje robiť inventúru trikrát za deň a v konečnom dôsledku poskytuje spoľahlivejšie informácie.

Sofistikovanejším riešením je automatická inventúra piestov, ktorú je možné vykonávať v reálnom čase vyhodnocovaním dát, ktoré sú zbierané databázovým systémom OIS.net. Takýto systém je schématicky znázornený na obr. 4.1 a je popísaný v nasledujúcich riadkoch.



Obr. 4.1 Schéma automatickej inventúry piestov.

Na výrobnom úseku triedenia je po premeraní piest vložený do paletky s triedou, ktorá odpovedá nameraným rozmerom piestu. Každá paletka má svoje jedinečné identifikačné číslo. Informácia o tom, do akej paletky bol piest vložený je automaticky odoslaná do systému OIS.net. Pomocou jednoduchého príkazu je teda možné získať informáciu o tom, koľko paletiek bolo za vyhodnocovaný časový úsek naplnených. Tieto paletky sa za relatívne krátky časový úsek (hneď po ich vypraní) objavujú na sklade piestov.

Párovacie stanice montážnych liniek sú vybavené čítačkami, ktoré sú schopné automaticky načítať identifikačné číslo každej paletky s piestami, ktorá je vložená do podávacieho sklzu párovacej stanice. Táto informácia je takisto odosielaná do systému OIS.net. Pomocou

jednoduchého príkazu je možné zistiť, koľko paletiek každej z tried bolo za vyhodnocovaný časový úsek na párovacej stanici obmenených a teda koľko piestov bolo spotrebovaných.

Nová verzia systému OIS.net navyše umožňuje automatické dotazovanie pomocou vyhľadávacieho jazyka SQL a inventúra teda môže prebiehať automaticky. Pravidelným vyhodnocovaním dát, ktoré sú uložené v databázovom systéme je teda možné monitorovať aktuálny stav piestov s relatívne vysokou presnosťou. Pravidelná manuálna inventúra nebude potrebná a bude vykonávaná len sporadicky.

4.2 Pridanie informácie o strednej hodnote na čip paletky s piestami

Pri triedení piestov je každý kus odmeraný v štyroch rovinách a na základe rozmeru $\emptyset M3_P$ je určená trieda piestu. Podľa nej je potom piest vložený do paletky, v ktorej sú kumulované piesty rovnakej triedy. Jedna z inovácií, ktorá bude popísaná v ďalšej kapitole však vyžaduje, aby každá paletka mala vo svojom čipe uloženú informáciu o strednej hodnote priemeru piestov uložených v paletke. Aby bola táto informácia prístupná, je nutné od výrobcu stroja pre triedenie piestov vyžiadať zmenu v nastavení riadiaceho systému, aby systém po naplnení paletky strednú hodnotu spočítal a nahral ju na čip paletky.

4.3 Zmena metódy párovania piestov a hláv na montážnej linke

Nedodržiavanie pracovného postupu skúsených pracovníkov montážnej linky, ktorí párujú hlavy s piestom na základe nameraného rozmeru $\emptyset M3_{CH}$ a nie na základe určenej triedy by bolo nerozumné vyriešiť usmernením pracovníkov, nakoľko svojou činnosťou prispievajú k navyšovaniu FPY a OEE. Pre priemerne zaškoleného pracovníka je však takáto činnosť príliš namáhavá, preto v súčasnosti nepripadá v úvahu ani zmena štandardu. Nutné je nájsť riešenie, ktoré takýto spôsob párovania podporí a ktorý zvládne aj menej skúsený pracovník.

Riešením je párovanie na základe strednej hodnoty rozmeru $\emptyset M3_P$

Systém párovania pracuje s informáciou o strednej hodnote piestov uložených v paletkách, ktoré sú aktuálne vložené do podávacích sklzov montážnej linky. Informácia o strednej hodnote je uložená na čipe každej z paletiek, do ktorého bola nahraná stanicou triedenia piestov.

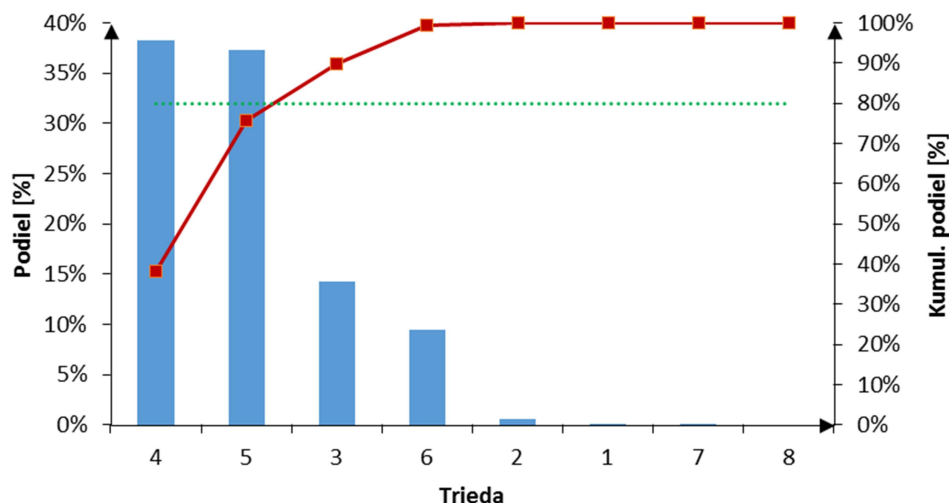
Pri samotnom párovaní je najprv zmeraný priemer hlavy v troch rovinách. Následne je od rozmeru $\emptyset M3_{CH}$ odčítaná predpísaná vôľa a je vypočítaný ideálny priemer piestu $\emptyset M3_P$. Následne je určená paletka s piestami, ktorých stredná hodnota leží najbližšie ideálnemu priemeru piestov. Nakoniec obsluha stroja vyberie piest z určenej paletky a spáruje piest s hlavou.

4.4 Stanovenie potrebných zásob piestov a určenie reakčných limitov

Pre určenie potrebných zásob a stanovenie limit bol využitý postup RELOWISA, ktorý je vo firme Bosch štandardným postupom pre výpočet potrebných zásob pri riadení výroby spotrebou. Riadenie spotrebou je štíhly spôsob riadenia výroby založený na sledovaní pravidelných odberov zákazníka a následnom doplnení odobraného tovaru [16]. Ako zákazník bol určený úsek triedenia piestov, pretože je to on, kto vytvára dopyt po hlavách určitej triedy tým, že v tejto triede naakumuloval limitný počet piestov. Štandardný postup výpočtu musel byť prispôbený konkrétnemu prípadu, pretože úsek triedenia piestov

hlavy fyzicky neodoberá, ale vytvára po nich dopyt. Výpočet bol vytvorený pre všetky triedy piestu typu 1468C60029, postup výpočtu bude popísaný len pre triedu 4.

Pred samotným výpočtom je nutné vytvoriť paretovu analýzu vyrábaných tried, aby bolo možné určiť hranicu medzi tzv. rennerom a exotom. Rennery zvyčajne pokrývajú 70 až 90 % výrobného času, zvyšok tvoria exoty. V tomto prípade je však vhodnejšie triedy rozlíšiť do 3 skupín- skupinu tried rýchlosti 1, 2 a 3. Paretova analýza roztriedených piestov za obdobie 4.1.-18.1.2017 je na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Paretova analýza tried piestu 1468C60029 za obdobie 3.1.-22.1.2017.

Do skupiny rýchlosti 1 boli pridelené triedy 4 a 5, ktoré tvoria 78 % roztriedených piestov. Triedy 3 a 6 boli vyhodnotené ako skupina rýchlosti 2 a triedy 1, 2, 7 a 8 boli zaradené do skupiny rýchlosti 3.

Pre každú z rýchlostných tried bola stanovená optimálna veľkosť výrobnej dávky, ktorá bola určená na základe prijateľného času obrábania hláv medzi jednotlivými prestaveniami triedy. Pre skupinu rýchlosti 1 bola veľkosť výrobnej dávky LS_{SR1} stanovená na 1920 kusov, pre skupinu rýchlosti 2 a 3 zhodne na $LS_{SR1} = LS_{SR2} = 960$ kusov. Čas obrábania výrobnej dávky je podľa vzťahu (4.1) 7 hodín pre skupinu 1 a 3,5 hodiny pre skupinu 2 a 3.

$$t_{SR1} = LS_{SR1} \cdot \frac{CT_{OP30}}{3600} [\text{hod}] \quad (4.1)$$

$$t_{SR1} = LS_{SR1} \cdot \frac{CT_{OP30}}{3600} = 1920 \cdot \frac{13.3}{3600} = 7 [\text{hod}]$$

$$t_{SR2,SR3} = LS_{SR1,SR2} \cdot \frac{CT_{OP30}}{3600} = 960 \cdot \frac{13.3}{3600} = 3,5 [\text{hod}]$$

Kde: t_{SR1} je doba výroby jednej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 1,
 t_{SR2} je doba výroby jednej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 2,

t_{SR3} je doba výroby jednej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 3,
 LS_{SR1} je veľkosť výrobnej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 1,
 LS_{SR2} je veľkosť výrobnej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 2,
 LS_{SR3} je veľkosť výrobnej dávky pre triedy patriace do skupiny rýchlosti 3,
 CT_{OP30} je výrobný takt operácie 30- honovanie.

Triedy 1 a 8 sú triedy okrajové a kumulácia 960 kusov v každej z týchto tried by mohla trvať mesiace až roky. Navyše obrábanie hláv na triedy, ktoré ležia na hranici celkovej povolenej tolerancie zvyšuje riziko vyrobenia zmltkov.

Preto bola stanovená výrobná dávka len pre triedu 2 a 7 na počet 960 kusov. K obrábaniu na túto triedu však môže dôjsť iba v prípade, že v sklade piestov je minimálna zásoba 260 ks. Pri obrábaní na triedu 2 musí obsluha honovacích strojov prvých 6 kusov odmerať pomocou referenčného merania pričom maximálne 1 kus môže byť vyhodnotený ako trieda 3 a žiadny ako trieda 1. Tým sa docieli, že veľmi malé množstvo hláv bude vyrobených na triedu 1 a nepatrne sa zníži stav piestov aj v tejto triede. Rovnaký postup platí aj pre triedu 7.

Po rozdelení tried do troch skupín je nutné stanoviť plánovaný výrobný čas (POT- Planned Operating Time) úseku obrábania hláv. Ten je podľa (4.2):

$$POT = 1440 - s \cdot (t_p + t_{PS}) = 1440 - 3 \cdot (30 + 0) = 1350 \text{ [min]} \quad (4.2)$$

Kde: POT je plánovaný výrobný čas [min],

s je zmennosť [-],

t_p je čas prestávky [min],

t_{PS} je čas pre predanie zmeny [min].

Kanbanová rovnica RELOWISA je zložená z piatich prvkov. Význam jednotlivých prvkov bol prispôsobený tomuto špecifickému prípadu:

$$K = RE + LO + WI + SA \quad (4.3)$$

Kde: K je celkový počet kanbanových kariet [ks],

RE je počet kariet potrebných pre pokrytie času od roztriedenia 1 kanbanu piestov po rezerváciu 1 kanbanu [ks],

LO je počet kariet potrebných pre pokrytie času tvorby výrobnej dávky [ks],

WI je počet kariet potrebný pre pokrytie plánovaných výkyvov v triedení [ks],

SA je počet kariet potrebný pre vykrytie neplánovaných výkyvov v triedení [ks].

Pre výpočet faktoru RE je nutné poznať čas RT_{LOOP} , teda čas od roztriedenia 1 kanbanu piestov po rezerváciu 1 kanbanu.

$$RT_{LOOP} = RT_1 + RT_2 + RT_3 + RT_4 + RT_5 \quad (4.4)$$

Kde: RT_1 je doba od chvíle, kedy je roztriedený 1 kanban do chvíle kedy je aktualizovaný stav piestov na sklade [hod],

RT_2 je doba čakania vo výrobnom sklze [hod],

RT_3 je čas prípravy materiálu [hod],

RT_4 je čas prestavenia stroja [hod],

RT_5 je doba od prestavenia stroja po zarezervovanie piestov [hod].

Predpokladá sa inventúra piestov 3 krát denne, vždy tesne pred tým, ako je rozhodnuté o tom, na aké triedy sa bude v danej zmene honovať. Preto $RT_1 = 0$.

Čas RT_2 je možné vypočítať pomocou vzťahu:

$$RT_2 = T_{SR1} \cdot LS_{SR1} \cdot CT_{OP30} + T_{SR2} \cdot LS_{SR2} \cdot CT_{OP30} \text{ [hod]} \quad (4.5)$$

Kde T_{SR1} je počet tried v skupine rýchlosti 1 [-],

T_{SR2} je počet tried v skupine rýchlosti 2 [-].

$$RT_2 = 2 \cdot 1920 \cdot \frac{13,3}{3600} + 2 \cdot 960 \cdot \frac{13,3}{3600} = 21,28 \text{ [hod]}$$

Čas prípravy materiálu RT_3 je nulový, pretože sa jedná o typ piestu, ktorý je párovaný s hlavami klasifikovanými ako rennery, ktoré sú vyrábané takmer nepretržite. Rovnako je to aj s časom RT_4 (prestavenie tried je možné vykonať za chodu stroja) a s časom RT_5 (zarezervovanie piestov je vykonané krátko pred/po nastavení stroja). Dosadením do vzťahu (4.4):

$$RT_{LOOP} = 0 + 21,28 + 0 + 0 + 0 = 21,28 \text{ [hod]}$$

Pre počet kanbanových kariet RE platí vzťah (4.6):

$$RE = \frac{RT_{LOOP}}{\frac{TT}{3600} \cdot NPK} [ks] \quad (4.6)$$

Kde: TT je takt zákazníka [s],

NPK (Number of Pieces per Kanban)- počet kusov Kanbanu [ks].

Takt zákazníka je možné vypočítať pomocou vzťahu (4.7):

$$TT = \frac{POT}{PR} = \frac{1350}{\frac{23169}{20}} = 1,16 [min] = 70 [s] \quad (4.7)$$

Kde: PR (Period Requirement) je potreba kusov v stanovenej perióde [ks/perióda].

Po dosadení (4.7) do vzťahu pre (4.6) bol vypočítaný počet kariet potrebných pre pokrytie dopytu zákazníka za predpokladu, že odoberá rovnomerne, teda že podiel piestov roztriedených do každej z tried odpovedá normálnemu rozdeleniu.

$$RE = \frac{21,28}{\frac{70}{3600} \cdot 96} = 11,4 [ks] = 12 [ks]$$

Pre výpočet faktoru LO je potrebné poznať čas, o ktorý sa predĺži čas RT_{LOOP} z dôvodu hromadenia kanbanových kariet do výrobnjej dávky. Tento čas bol spočítaný pomocou:

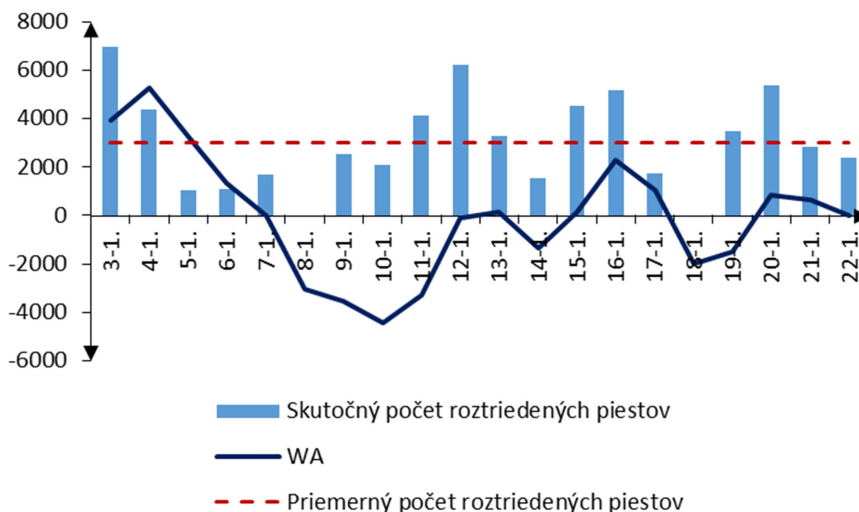
$$\Delta RT_{LOOP} = (LS - NPK) \cdot \frac{TT}{3600} = (1920 - 96) \cdot \frac{70}{3600} = 35,47 [hod] \quad (4.8)$$

Kde: ΔRT_{LOOP} je čas, o ktorý sa predĺži RT_{LOOP} z dôvodu hromadenia kanbanových kariet do výrobnjej dávky.

Následne je možné vypočítať počet kariet potrebných pre pokrytie času tvorby výrobnjej dávky podľa vzťahu (4.9):

$$LO = \frac{\Delta RT_{LOOP}}{\frac{TT}{3600} \cdot NPK} = \frac{35,47}{\frac{70}{3600} \cdot 96} = 19 [ks] \quad (4.9)$$

Ďalším bodom je výpočet faktoru WA, ktorý je definovaný ako maximálny počet kusov odobraných zákazníkom za čas RT_{LOOP} . V tomto prípade je však vhodnejšie tento faktor definovať ako maximálny rozdiel medzi kumulovaným množstvom skutočne roztriedených piestov a množstvom odhadnutým na základe priemeru za dané obdobie. Vývoj tohto rozdielu je na obr. 4.4 naznačený tmavomodrou farbou.



Obr. 4.4 Vývoj odchýlky skutočného počtu roztriedených piestov voči priemernej hodnote počas sledovaného obdobia 3.1.2017-22.1.2017 pre piest typu 1468C60029.

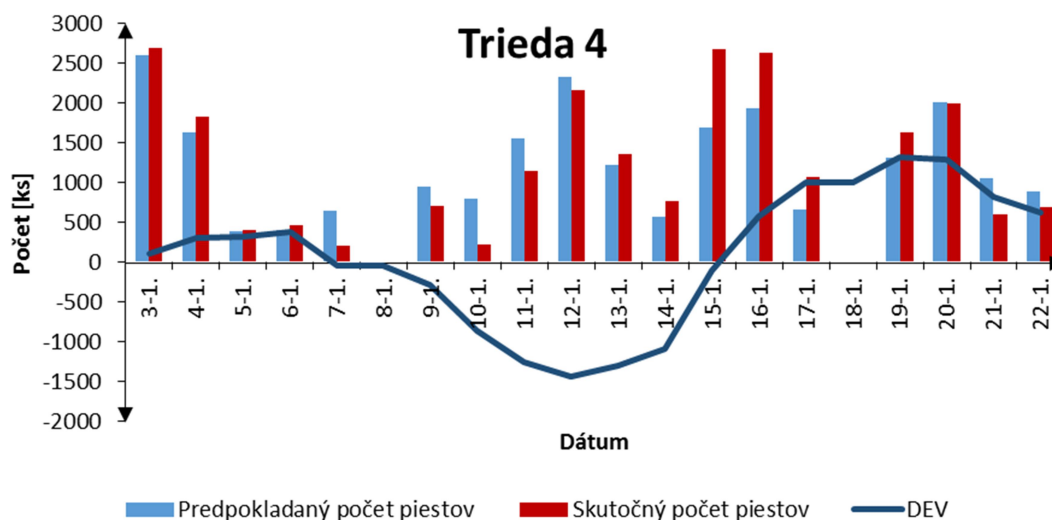
Faktor WA je teda 4431 ks (viz obr. 4.4). Počet kanbanových kariet potrebných pre pokrytie plánovaných výkyvov je:

$$WI = \frac{WA}{NPK} - RE - LO = \frac{4431}{96} - 12 - 19 = 15,15 \cong 15 [ks] \quad (4.10)$$

Pre výpočet kariet potrebných pre vykrytie neplánovaných výkyvov v triedení zapríčinených tým, že podiel piestov roztriedených do jednotlivých tried sa neriadi normálnym rozdelením je nutné opäť sledovať chovanie zákazníka a určiť maximálnu kumulovanú odchýlku medzi odhadovaným počtom roztriedených piestov a skutočným počtom roztriedených piestov počas celého sledovaného obdobia. Vývoj kumulovanej odchýlky je v grafe na obr. 4.5 vyznačený tmavou modrou farbou a dosahuje najnižšej hodnoty -1432 ks. Táto hodnota bola dosadená do vzťahu pre výpočet prvku SA (4.11):

$$SA = \frac{DEV_{max}}{NPK} = \frac{1432}{96} = 15 [ks] \quad (4.11)$$

Kde: DEV_{max} je maximálna záporná kumulovaná odchýlka skutočného počtu piestov voči očakávanému počtu pre určenú triedu piestov.



Obr. 4.5 Vývoj kumulovanej odchýlky skutočného počtu piestov voči očakávanému počtu počas sledovaného obdobia 3.1.2017-22.1.2017 pre piest typu 1468C60029 a triedu 4.

Po dosadení všetkých prvkov do rovnice (4.3):

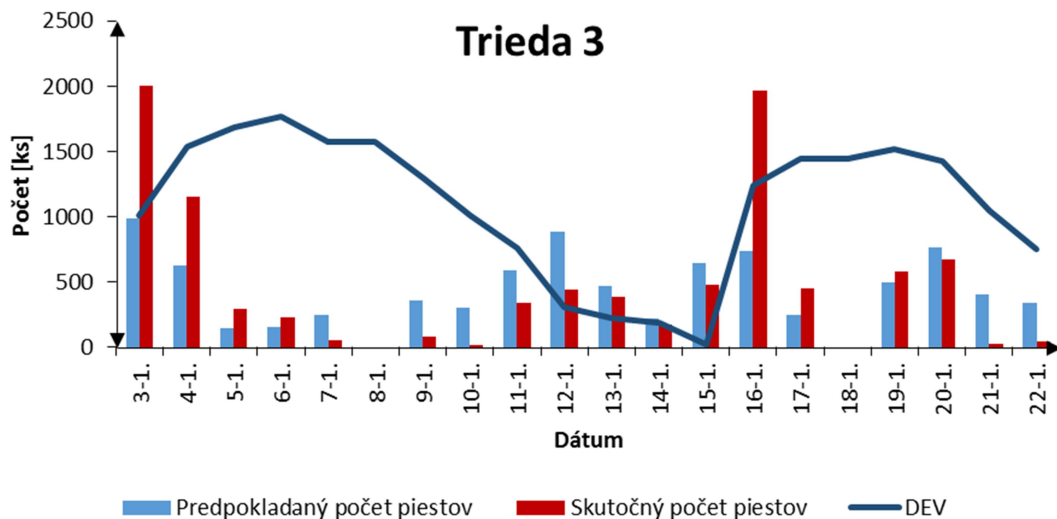
$$K = 12 + 19 + 15 + 15 = 61 \text{ [ks]}$$

To znamená, že pri $NPK = 96 \text{ ks}$ je maximálna zásoba piestov typu 1468C60029 triedy 4 5856 ks. Po dosiahnutí tejto hranice musia byť honované 2 výrobné dávky tejto triedy zasebou. Naopak minimálna zásoba je rovná počtu SA, teda 1440 ks. Limit pre prestavenie honovacieho stroja na triedu 4 je dosiahnutie hranice 3360 ks.

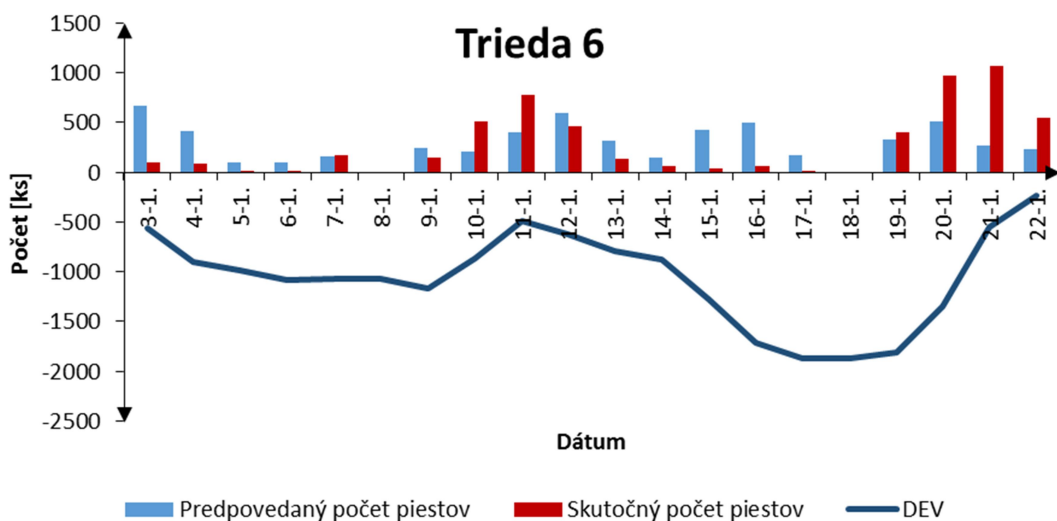
Analogicky boli stanovené limity aj pre triedu 5, ktorá bola takisto zaradená do skupiny rýchlosti 1. Maximálna zásoba tejto triedy je 5760 ks, minimálna zásoba je 1344 ks a limit pre prestavenie honovacieho stroja na triedu 5 je dosiahnutie hranice 3264 ks.

Pre triedy 3 a 6, ktoré sú v skupine rýchlosti 2 bol stanovený len ochranný počet kariet SA, ktorý pre triedu 3 vyšiel záporný (Kumulovaná odchýlka nikdy neklesla pod 0, viz obr. 4.6). Naopak pre triedu 6 vyšiel 19, pretože kumulovaná odchýlka sa neustále držala v záporných hodnotách, čo znamená, že do triedy 6 piesty pribúdali neustále nižšou rýchlosťou, ako sa predpokladalo (viz obr. 4.7). Takýto, alebo presne opačný priebeh je možné očakávať v každom sledovanom období, nakoľko dodávateľ piestov nikdy nedodáva súčasne zvýšené množstvo piestov v triede 3 a 6 súčasne. Pokiaľ je jeho proces nastavený na nižšiu hodnotu, prichádza viac piestov triedy 3, pokiaľ na hodnotu vyššiu, prichádza viac piestov triedy 6. Preto je rozumné stanoviť bezpečnostný počet kanbanových kariet zhodne pomocou vzťahu (4.12):

$$SA_{SR2} = \frac{1}{2} \cdot \max\{SA_3; SA_6\} = \frac{1}{2} \cdot 19 = 9,5 \cong 10 [ks] \quad (4.12)$$



Obr. 4.6 Vývoj kumulovanej odchýlky skutočného počtu piestov voči očakávanému počtu počas sledovaného obdobia 3.1.2017-22.1.2017 pre piest typu 1468C60029 a triedu 3.



Obr. 4.7 Vývoj kumulovanej odchýlky skutočného počtu piestov voči očakávanému počtu počas sledovaného obdobia 3.1.2017-22.1.2017 pre piest typu 1468C60029 a triedu 6.

Bezpečnostný limit pre triedy zaradené do skupiny rýchlosti 2 pri $NPK = 96$ ks je 960 ks a hraničná hodnota pre prestavenie obrábacieho stroja je 1920 ks.

Pre triedy 2, 7 bolo stanovené minimálne množstvo piestov v sklade na 240 kusov, teda na jedno KLT. Limity pre prestavenie stroja na triedy 2 a 7 boli stanovené na 1200 kusov piestov. Prehľad vypočítaných limit a minimálne množstvo piestov uložených v sklade je v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Minimálne množstvo piestov uložených v sklade a reakčné limity pre prestavenie obrábacieho stroja.

Trieda	Minimálny počet piestov [ks]	Limit 1 výrobná dávka [ks]	Limit 2 výrobné dávky [ks]
1	240	-	-
2	240	1200	2160
3	960	1920	2880
4	1440	3360	5856
5	1344	3264	5760
6	960	1920	2880
7	240	1200	2160
8	240	-	-

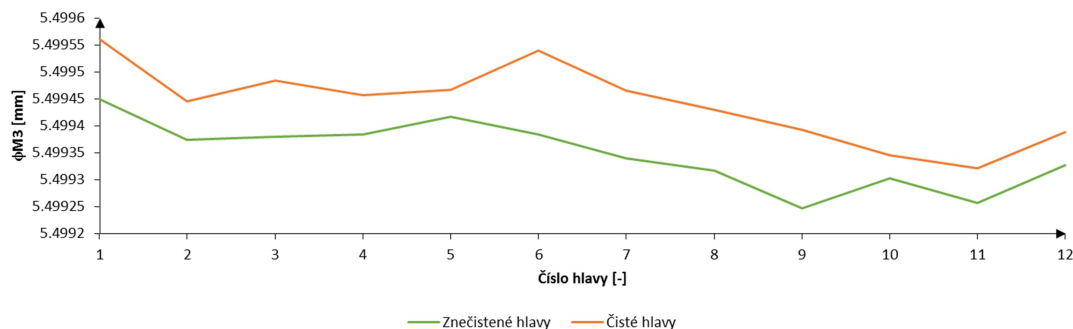
4.5 Zosúladenie hodnôt nameraných na stanici Kadia s hodnotami nameranými na staniciach Stotz

Pri testovaní hypotézy 7 v rámci analýzy súčasného stavu bolo zistené, že zatiaľ čo merania na staniciach Stotz sa od seba líšia len nepatrne, rozmer nameraný na stroji Kadia sa značne líši. Pri dosiahnutí stavu, kedy by sa rozmer na stroji Kadia líšil o menej ako 0,2 μm , by bolo jednoduchšie nastaviť stroj tak, aby obrábal len hlavy požadovanej triedy. Preto je nutné dôvod tejto odchýlky ďalej skúmať.

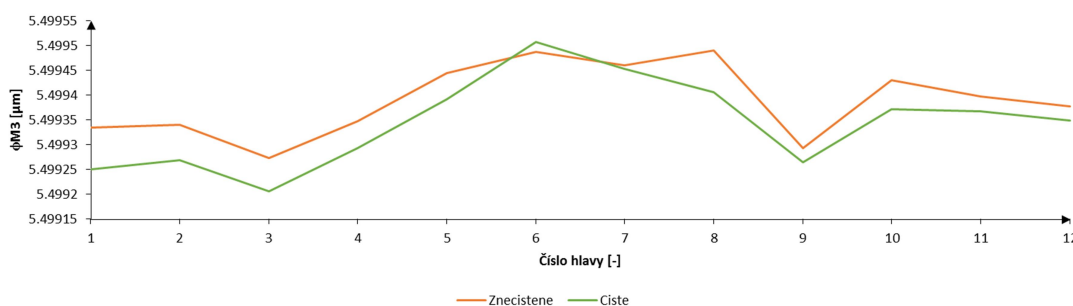
Možnou príčinou odchýlky rozmerov nameraných na stroji Kadia voči rozmerom nameraným na staniciach Stotz je vplyv nečistôt a odlišnej teploty meraného dielu. Meranie prebehlo dňa 10.4.2017 počas rannej a počas poobednej zmeny nasledujúcim spôsobom:

- 12 kusov hláv typu 1465C53160 bolo vybraných priamo z honovacieho stroja Kadia bezprostredne po obrobení a boli zmerané na stanici Stotz, ktorá je umiestnená na úseku obrábania hláv. Hlavy pred meraním neboli vyprané.
- Následne boli naskenované DMC kódy hláv,
- Na základe DMC kódov boli hlavy vyhľadane v databázovom systéme OIS.net pre montážne procesy, v ktorom sú uložené záznamy z meraní, ktoré vykonala stanica Stotz tesne pred spárovaním hlavy s piestom. V tomto prípade boli merané už vyprané, temperované hlavy.

Získané hodnoty boli vyplnené do tabuľky a vynesené do grafov. Na obr. 4.7 a 4.8 sú grafy, porovnávajúce namerané hodnoty čistých a znečistených hláv.



Obr. 4.7 Namerané hodnoty čistých a znečistených hláv 10.4.2017 ráno.



Obr. 4.8 Namerané hodnoty čistých a znečistených hláv 10.4.2017 poobede.

Následne bola vykonaná štatistická interpretácia rozdielu hodnôt získaných meraním znečistených a čistých hláv a na stanici Stotz umiestnenej na úseku obrábania hláv a na stanici Stotz, ktorá je súčasťou montážnej linky. Určený bol dvojstranný konfidenčný interval strednej hodnoty pre konfidenčnú úroveň $(1-\alpha) = 0,95$ a dvojstranný štatistický tolerančný interval pre konfidenčnú úroveň $(1-\alpha) = 0,95$ a pre podiel súboru $p = 0,9$.

Pre súbor z 10.4.2017 ráno:

Odhad strednej hodnoty rozdielu bol získaný dosadením do (3.16):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{12} \cdot 1,12 = 0,09 [\mu m]$$

Odhad smerodatnej odchýlky bol získaný dosadením do (3.17):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{12-1} \cdot 0,158} = 0,04 [\mu m]$$

Dolná a horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty boli vypočítané dosadením do (3.18) a (3.19):

$$m_d = \bar{x} - t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,09 - 2,201 \frac{0,04}{\sqrt{12-1}} = 0,07 [\mu m]$$

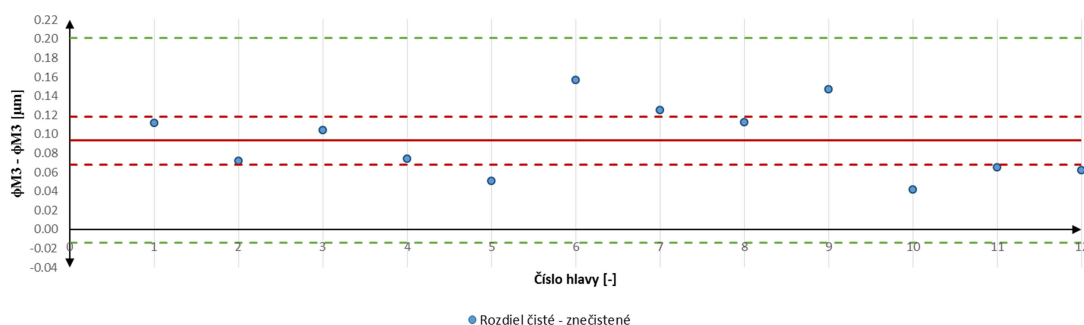
$$m_h = \bar{x} + t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = 0,09 + 2,201 \frac{0,04}{\sqrt{12-1}} = 0,12 [\mu m]$$

Dolná a horná medza štatistického tolerančného intervalu bola stanovená dosadením do (3.20) a (3.21):

$$L_d = \bar{x} - k_7 \cdot s = 0,09 - 2,84 \cdot 0,04 = -0,01 [\mu m] \quad (4.5)$$

$$L_h = \bar{x} + k_7 \cdot s = 0,09 + 2,84 \cdot 0,04 = 0,2 [\mu m] \quad (4.6)$$

Vypočítané hodnoty boli vynesené do grafu, ktorý je na obr. 4.9. Zelenou prerušovanou čiarou sú opäť vyznačené medze štatistického tolerančného intervalu, červenou prerušovanou čiarou medze konfidenčného intervalu strednej hodnoty a červenou plnou čiarou bodový odhad strednej hodnoty rozdielu merania.



Obr. 4.9: Rozdiel hodnôt nameraných na čistej a znečistenej hlave (10.4.2017 ráno).

Pre súbor z 10.4.2017 poobede:

Odhad strednej hodnoty rozdielu dosadením do (3.16):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{12} \cdot -0,54 = -0,05 [\mu m]$$

Odhad smerodatnej odchýlky dosadením do (3.17):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{12-1} \cdot 0,01} = 0,03 [\mu m]$$

Dolná a horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty dosadením do (3.18) a (3.19):

$$m_d = \bar{x} - t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = -0,05 - 2,201 \frac{0,03}{\sqrt{12-1}} = -0,07 [\mu m]$$

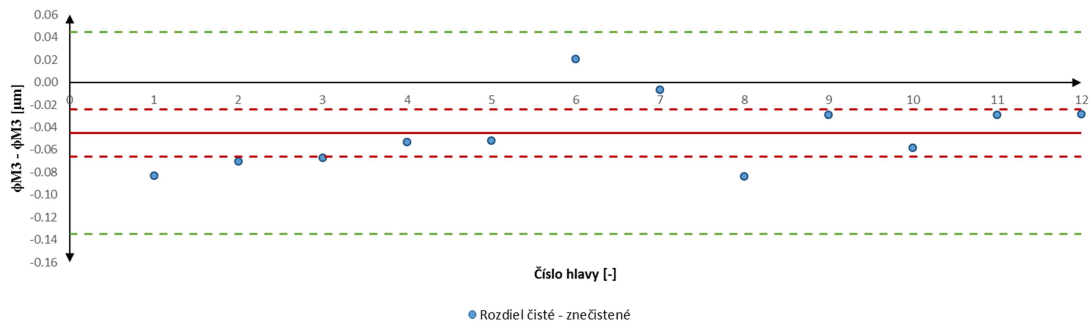
$$m_h = \bar{x} + t_{1-\frac{0,05}{2}} \frac{s}{\sqrt{n-1}} = -0,05 + 2,201 \frac{0,03}{\sqrt{12-1}} = -0,02 [\mu m]$$

Dolná a horná medza štatistického tolerančného intervalu dosadením do (3.20 a 3.21):

$$L_d = \bar{x} - k_7 \cdot s = -0,05 - 2,84 \cdot 0,03 = -0,14 [\mu m]$$

$$L_h = \bar{x} + k_7 \cdot s = -0,05 + 2,84 \cdot 0,03 = 0,04 [\mu m]$$

Vypočítané hodnoty boli vynesené do grafu, ktorý je na obrázku 4.10.



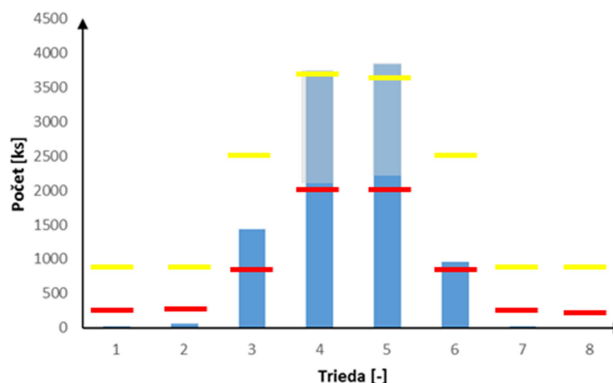
Obrázok 4.10: Rozdiel hodnôt nameraných na čistej a znečistenej hlave (10.4.2017 poobede).

Porovnaním získaných výsledkov s výsledkami získanými v predchádzajúcej kapitole, kedy boli merané len vyprané a temperované hlavy bolo zistené, že čistota hláv a ich teplota nemá zásadný vplyv na bodový odhad strednej hodnoty, jej konfidenčný interval ani na šírku tolerančného intervalu.

Keďže bol vplyv teploty a miery znečistenia hláv na presnosť merania vylúčený, zostáva dôvod nepresnosti merania na honovacom stroji Kadia neobjasnený. Vysvetlením môže byť, že rovina, v ktorej je priemer otvoru meraný na honovacom stroji, je posunutá voči rovine M3, v ktorej je otvor meraný na stanici Stotz.

4.6 Zefektívnenie komunikácie medzi úsekom obrábania hláv a montážou hláv

Komunikáciu medzi nastavovačom strojov Kadia a Milkrunom úseku predmontáže je možné zefektívniť vytvorením zdieľanej aplikácie, ktorá vizualizuje počet piestov každého typu na sklade predmontáže. Takáto aplikácia bude prístupná na všetkých troch výrobných úsekoch- triedení piestov, obrábaní hláv a predmontáži piestov. Nastavovač honovacích strojov bude mať v tejto aplikácii oprávnenie zarezervovať taký počet piestov, pre ktoré budú počas jeho zmeny obrobené hlavy. Tak dá Milkrunovi predmontáže jasný signál, že tieto piesty už nieje možné využiť pre iný typ hláv ani pri zmene výrobného plánu montážnej linky. Zarezerované piesty sa po rezervácii zafarbí odlišnou farbou, ale stále ich bude v grafe vidno (viz obr. 4.11).



Obr. 4.11 Vizualizácia piestov na sklade.

Po rezervácii sa v aplikácii takisto vytvorí zložka, do ktorej budú postupne načítavané identifikačné čísla všetkých hláv, ktoré boli honované na požadovanú triedu v danom časovom úseku. Načítanie DMC kódu prebehne automaticky pred honovaním na stroji Kadia. Rezervované piesty zo skladu zmiznú automaticky v momente, kedy všetky hlavy zo zložky budú načítané na montážnej linke. Pokiaľ bude nutné hlavy spárovať s iným typom piestov kvôli zmene výrobného plánu, bude môcť Milkrun tejto zložke prideliť novú rezerváciu piestov a tú pôvodnú zrušiť.

Aplikácia bude takisto spolupracovať s automatickou inventúrou piestov, vďaka ktorej budú zabezpečené aktuálne informácie o počte piestov v sklade.

Vývoj takejto aplikácie je pomerne náročný a riešenie je spojené s vysokými vstupnými nákladmi. Na podobnom projekte už pracuje oddelenie TEF23 vedúceho závodu vo Feuerbach, od ktorého by riešenie bolo možné kompletne prevziať. Zatiaľ je projekt v štádiu testovania a jeho funkčnosť nebola kompletne overená.

Podobný výsledok je však možné dosiahnuť vytvorením prehľadnej tabuľky v tabuľkovom procesore Excel, ktorá bude zdieľaná medzi tromi výrobnými úsekmi. Aktuálny stav piestov bude zabezpečený pravidelnou inventúrou, zjednodušená forma rezervácie piestov bude takisto umožnená a vďaka stanoveným reakčným limitom pre prestavenie strojov Kadia na obrábanie inej triedy hláv bude docielená zvýšená transparentnosť a vizuálnosť výrobného procesu.

5 DISKUSIA

Preštudovaním myšlienok a definícií Priemyslu 4.0 bolo dokázané, že vízia iniciatívy sa zhoduje s víziou väčšiny štíhlych výrobných systémov, teda zabezpečiť plynulý hodnotový tok bez strát. Rovnaká je aj cesta, ktorou má byť tejto vízie dosiahnuté- zefektívnením výmeny informácií naprieč celým hodnotovým tokom, zvyšovaním flexibility, elimináciou plýtvania, zvyšovaním transparentnosti a podporou rozvoja všetkých zamestnancov podniku. Nutné je však poznamenať, že väčšina nástrojov Priemyslu 4.0 automaticky neprispieva k zvýšeniu transparentnosti, naopak ju potláča. To sa deje kvôli zložitosti využívaných nástrojov, obrovskému objemu zbieraných dát a autonómnosti systémov, ktoré do výrobného procesu zasahujú bez vedomia pracovníkov. Preto je žiadúce, aby boli nástroje Priemyslu 4.0 využívané pre podporu procesov, ktoré sú plne pochopené, zrozumiteľné pre všetkých zamestnancov a dostatočne stabilné. Dosiahnuť takejto úrovne procesov je možné práve využitím nástrojov štíhlej výroby. Dôležité je poznamenať, že cieľom iniciatívy Priemyslu 4.0 by v žiadnom prípade nemalo byť prekonať stávajúce spôsoby riadenia výroby, ale naopak ich do najvyššej možnej miery podporovať s cieľom dosiahnuť skutočne štíhleho hodnotového toku.

Mnohí autori sa domnivajú, že iniciatíva Priemysel 4.0 prinesie skutočný tok jedného kusu. Argumentujú tým, že výrobok bude niesť informáciu o všetkých potrebných výrobných operáciach. V momente, kedy príde k výrobnému stroju, tak mu tieto informácie odovzdá a stroj sa prenastaví podľa požiadavok výrobku. Takýto spôsob výroby je však v jednoznačnom rozpore s princípmi štíhlej výroby, vedie totiž k plýtvaniu, pretože:

- neprimerane časté prestavenie stroja je plýtvanie,
- neprimerane častá výmena nástroja je plýtvanie,
- obrábať všetky prvky rovnakým, univerzálnym nástrojom je strata (napr. obrábať drážku širokú 100 mm frézou s Ø 4 mm je plýtvanie).

To je typickým príkladom falošného jednokusového toku. Podobnej chyby sa dopúšťajú aj mnohí súčasní výrobcovia, ktorí s cieľom zvýšenia flexibility inovujú výrobu kúpou vyspelých multifunkčných obrábacích centier s vysokým počtom obrábacích osí a enormne veľkými zásobníkmi nástrojov. Neuvedomujú si však, že častá výmena nástroja je takisto jedným z druhov plýtvania. Je nutné si uvedomiť, že myšlienka jednokusového toku je vízia, ktorá určuje spôsob, akým je potrebné výrobný systém rozvíjať. Cieľom má byť dosiahnutie optimálne veľkej výrobnéj dávky s minimálnym plýtvaním.

Pre zlepšenie procesu výroby hláv čerpadla CP4 je kombinácia nástrojov Priemyslu 4.0 a nástrojov štíhlej výroby veľmi vhodná. Nástroje Priemyslu 4.0, konkrétne zber výrobných dát, data-minig a následná vizualizácia výsledkov pomocou zdieľaného dokumentu

- eliminuje potrebu manuálnej inventúry piestov,
- zlepši vzájomnú komunikáciu medzi jednotlivými výrobnými úsekmi,
- prispeje k zvýšeniu transparentnosti,
- umožní sledovanie dodávateľa piestov,

- umožní near-real-time porovnávanie meraní medzi jednotlivými meracími stanicami.

Software, ktorý tieto nástroje poskytne, je v súčasnosti vyvíjaný vedúcim závodom vo Feuerbach a jeho vývoj je značne finančne náročný. Preto je rozumné systém prevziať až po jeho otestovaní vo výrobe. Podľa informácií zo závodu Feuerbach je softwareové riešenie pripravené a k otestovaniu by malo dôjsť v priebehu roku 2017.

Pre závod v Jihlave je v súčasnosti dôležité pripraviť sa na presun výroby všetkých typov piestov do závodu vo Feuerbach. Keďže voľba triedy, na ktorú sú piesty brúsené, už naďalej nebude možná, je nutné pracovisko triedenia piestov považovať za zákazníka úseku obrábania hláv. Na základe toho, do akých tried boli piesty roztriedené, je iniciované honovanie hláv na triedy, ktoré sú v sklade najpočetnejšie zastúpené. Postup, ktorý bol navrhnutý pre výpočet reakčných limitov a minimálnych zásob piestov bol odvodený od kanbanového vzorca ReLoWiSa, ktorý je primárne určený pre výpočet zásob pre spôsob riadenia spotrebou. V tomto prípade však zákazník (triedenie piestov) kusy reálne neodoberá, kusy sú odoberané predmontážnymi linkami. Úsek však vytvára dopyt po hlavách určitej triedy, preto sa ukázal tento vzorec dobrým základom pre vytvorenie nového konceptu výpočtu, ktorý je vhodný pre tento špecifický prípad. Výpočet bol prekonzultovaný s viacerými odborníkmi na riadenie spotrebou, napriek tomu jeho univerzálna platnosť bude otestovaná až po použití vo výrobe. V čase dokončenia práce boli vypočítané limity pre typ piestu 1468C60029 schválené výrobou a v najbližšom čase budú otestované. Pokiaľ sa vypočítané limity osvedčia, bude rovnaký postup výpočtu využitý aj pre stanovenie minimálnych zásob a reakčných limitov pre zvyšné typy piestov.

Pre stanovenie faktorov WI a SA je v súčasnosti nutný zdĺhavý proces zberu výrobných dát z databázy OIS.net. Preto nie je možné stanovené limity pravidelne prepočítavať a aktualizovať. V novej verzii systému OIS.net už je možné z databázy sťahovať dáta pomocou kódu SQL. Vytvorením vhodného skriptu môžu byť dáta potrebné pre výpočet faktorov WI a SA zbierané automaticky a limity môžu byť aktualizované v pravidelných časových intervaloch (napr. každých 14 dní).

Medzi riziká konceptu je možné zaradiť:

- neochotu pracovníkov obrábania hláv meniť triedu, na ktorú sú kusy honované každých 7 hodín,
- zníženie podielu hláv vo výrobnej dávke, ktoré boli nahonované na správnu triedu, zapríčinené častejším prestavovaním nominálnej hodnoty,
- extrémne zvýšenie zásob piestov v prípade, že úsek obrábania hláv nepristúpi na častejšie prestavovanie tried.

Neochotu pracovníkov je však možné prekonať upozornením na výhody, ktoré pre nich vytvorený koncept prináša:

- relevantné a aktuálne informácie o dopyte zákazníka,
- ochranu pred náhlou zmenou denného výrobného plánu montáže (a následným spárovaním hláv s neplánovaným typom hláv) poskytnutím možnosti piesty zarezervovať, takisto vďaka skráteniu času uloženia hláv na sklade predmontáže (vytvoreniu toku) a udržiavaniu veľmi podobného počtu piestov všetkých typov na sklade.

Riziko zníženia podielu hláv vo výrobnjej dávke, ktoré budú honované na správnu triedu je diskutabilné, pretože vďaka častejšej zmene vyrábanej triedy budú mať pracovníci viac skúseností s nastavovaním nominálneho rozmeru. Kratší čas medzi zmenami triedy takisto znamená zníženie vonkajších vplyvov na tento proces (napr. zmeny teploty počas dňa). Rozumné je však vytvorenie tabuľky, do ktorej obsluha stroja zapíše nominálnu hodnotu, na ktorú je stroj nastavený v momente dosiahnutia stavu, kedy stroj honuje na požadovanú triedu (čo je overené referenčným meraním na stanici Stotz). Od tejto nominálnej hodnoty by obsluha stroja vychádzala v prípade, že budú v budúcnosti opätovne požadované hlavy tejto triedy. Takáto tabuľka by mohla byť umiestnená priamo na obrábacom stroji, prípadne vizualizovaná na TV obrazovke spoločne s aktuálnym počtom piestov na sklade.

Očakávaným prínosom konceptu je predovšetkým:

- vytvorenie štandardu stanovením jasných pravidiel pre zmenu vyrábanej triedy hláv,
- zníženie množstva rozpracovaných hláv, ktoré sú uložené v sklade predmontáže,
- stanovenie a následná optimalizácia minimálnych zásob roztriedených piestov,
- možnosť identifikácie príčiny absolútneho vyčerpania piestov jednej triedy,
- možnosť identifikácie príčiny nedodania hláv v požadovanej triede,
- flexibilná výroba hláv prispôbená požiadavkám oboch zákazníkov (montáž hláv pre typy a triedenie piestov pre triedy).

Po premiestnení úseku triedenia piestov je nutné overiť hypotézu 3, ktorá tvrdí že trieda, do ktorej je piest zaradený na úseku triedenia je zhodná s triedou, ktorú určí meracia stanica Stotz, ktorá je súčasťou montážnej linky hláv. Uspokojivým výsledkom je dosiahnutie 80% zhody, ktorá je bežne dosahovaná medzi úsekom obrábania hláv a predmontážou (viz hypotéza 6).

ZÁVER

Iniciatíva Priemysel 4.0 podporená čoraz väčšou mierou využitia internetu vo výrobe v žiadnom prípade nespôsobí zánik štíhlych výrobných systémov. Naopak, aby boli vysoké očakávania iniciatívy naplnené, musia byť nástroje Priemyslu 4.0 implementované v súlade s princípmi štíhlych výrobných systémov. Aj keď princípy a filozofia štíhlych podnikov zostanú nezmenené, nástup nástrojov Priemyslu 4.0 zmení podobu štíhlej výroby. Dá sa očakávať prechod od fyzických nástrojov, akým sú napríklad plánovacie tabule Heijunka, záchranné brzdy Andon, alebo fyzické kanbanové karty na elektronické riešenia. Aby bol implementáciou nástrojov Priemyslu 4.0 dosiahnutý očakávaný výsledok, je veľmi žiadúca úzka spolupráca expertov na štíhlu výrobu a vývojárov takýchto nástrojov.

Skúmaním výrobného procesu a následným testovaním hypotéz bolo zistené, že:

- piesty prichádzajúce do Jihlavského závodu sa neriadia normálnym rozdelením z dôvodu nestability procesu výroby piestov v závode Feuerbach,
- obsluha montážnej linky nerešpektuje štandardný postup pri párovaní hlavy s piestom,
- honované hlavy sa riadia normálnym rozdelením a pri správnom nastavení nominálnej hodnoty je teoreticky možné celú výrobnú dávku nahonovať na jednu rozmerovú triedu. Experimentom bolo zistené, že v súčasnosti je možné stroj nastaviť tak, že je 80 % výrobnej dávky honovanej na požadovanú triedu,
- stroje Kadia sú optimálne nastavené,
- hodnoty získané meraním na stanici Stotz, ktorá je súčasťou montážnej linky a na stanici Stotz, ktorá je umiestnená na úseku obrábania hláv sa líšia o menej ako 0,13 μm ,
- hodnoty získané meraním na obrábacom stroji Kadia sa líšia od hodnôt nameraných na staniciach Stotz. Miera znečistenia a odlišná teplota meraných dielov má na tento jav zanedbateľný vplyv.

Pre zlepšenie riadenia výroby na úseku obrábania hláv je nutné zvýšiť transparentnosť, mieru vizualizácie a stanoviť jasné pravidlá pre riadenie vyrábaných tried. Určenie minimálnych zásob roztriedených piestov, definovanie reakčných limtov a vytvorenie zdieľaného dokumentu s aktuálnym stavom piestov na sklade je prvým krokom k dosiahnutiu týchto cieľov. Po odladení tohto spôsobu riadenia budú výrobní pracovníci pripravení prijať softwareové riešenie vyvinuté vedúcim závodom Feuerbach, ktorý prinesie okrem iného možnosť real-time sledovania množstva piestov na sklade.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *Bosch v České republice*. Praha: Robert Bosch odbytová, 2007.
- [2] VYSKOČIL, Lukáš. *Laserově svařovaný tlakový zásobník systému Common Rail* [online]. Brno, 2014 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/32696>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Ramík.
- [3] PACLÍK, Jaroslav. Bosch roste. Díky české šikovnosti a německé preciznosti, říká jeho šéf. *Idnes.cz* [online]. Praha: MAFRA, a. s., 2016 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://jihlava.idnes.cz/rozhovor-s-reditelem-bosch-diesel-v-jihlave-ralphem-carlem-pai-/jihlava-zpravy.aspx?c=A160630_2256921_jihlava-zpravy_mv
- [4] *Diesel-engine management: [systems and components] : new: unit pump/unit injector*. 3. ed., completely rev. and extended. Editor Horst BAUER. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2004. Automotive technology. ISBN 1860584357.
- [5] MAŘÍK, Vladimír. Národní iniciativa - Průmysl 4.0. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2015 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [6] KOLBERG, Dennis a Detlef ZÜHLKE. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine* [online]. 2015, **48**(3), 1870-1875 [cit. 2017-04-02]. ISSN ISSN 2405-8963. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- [7] NAKANE, Jinichiro a Robert HALL. Ohno's Method: Creating a survival work culture. *Target* [online]. 2002, **18**(1), 6-15 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: http://www.ame.org/sites/default/files/target_articles/02-18-1-Ohnos_Method.pdf
- [8] LIKER, Jeffrey. *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008. ISBN 9788072611737.
- [9] WOMACK, James, Daniel JONES a Daniel ROOS. *The machine that changed the world: based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile*. New York: Rawson Associates, 1990. ISBN 08-925-6350-8.
- [10] WOMACK, James a Daniel JONES. *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. 1st Free Press ed., rev. and updated. New York: Free Press, 2003. ISBN 978-0743249270.
- [11] ROTHER, Mike a John SHOOK. *Learning to see: value-stream mapping to create value and eliminate muda*. Version 1.3. Cambridge, Mass: Lean Enterprise Inst, 2003. ISBN 978-096-6784-305.
- [12] SHAH, Rachna a Peter WARD. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management* [online]. 2003, **21**(2), 129-149 [cit. 2017-04-02]. DOI: 10.1016/S0272-6963(02)00108-0. ISSN 02726963. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272696302001080>
- [13] NETLAND, Torbjørn. Exploring the Phenomenon of Company-Specific Production Systems:: One-Best-Way or Own-Best-Way?. *International Journal of Production Research* [online]. 2013, **51**(4), 1084-1097 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://ssrn.com/abstract=2346300>
- [14] RÜTTIMANN, Bruno a Martin STÖCKLI. Going beyond Triviality: The Toyota

- Production System—Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen. *Journal of Service Science and Management* [online]. 2016, 9(1), 140-149 [cit. 2017-04-02]. ISSN 1940-9907. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.4236/jssm.2016.92018>
- [15] *Leveling: Implementation Guideline*. 8. Stuttgart, 2016.
- [16] *Consumption Control: Implementation guideline*. 8. Stuttgart, 2016.
- [17] *BPS: Bosch Production System*. Jihlava, b.r.
- [18] RÜTTIMANN, Bruno a Martin STÖCKLI. Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management* [online]. 2016, 2016(9), 485-500 [cit. 2017-04-01]. DOI: 10.4236/jssm.2016.96051. ISSN 1940-9893. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/jssm.2016.96051>
- [19] SCHEER, Artur. *Industry 4.0: From vision to implementation* [online]. Saarbrücken, 2015, , 1-26 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/281447305_Whitepaper_-_Industry_40_From_vision_to_implementation
- [20] KODEROVÁ, Gabriela. *Současné možnosti uplatnění koncepce Industry 4.0* [online]. Mladá Boleslav, 2016 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/dbpfht>. Diplomová práce. Škoda auto vysoká škola o.p.s. Vedoucí práce Ing. Pavel Wicher, Ph.D.
- [21] *Industrial Internet: Putting the vision into practice*. Hannover, 2015. Dostupné také z: https://www.bosch-si.com/media/en/bosch_si/manufacturing/study/management_summary_whitepaper_industrial_internet.pdf
- [22] *Industry 4.0 market study: Demand for connected software solutions*. Berlin, 2015. Dostupné také z: https://www.bosch-si.com/media/en/bosch_si/manufacturing/study/management_summary_study_i4-0_de.pdf
- [23] *From concept to production: A 5-step approach towards successful Industry 4.0 projects*. Mountain View, b.r. Dostupné také z: <https://www.bosch-si.com/manufacturing/insights/downloads/frost-and-sullivan-industry-4-0-whitepaper.html>
- [24] VOGT, Arnold. *Industrie 4.0 / IoT Vendor Benchmark 2017*. Mníchov, 2016. Dostupné také z: <https://www.bosch-si.com/manufacturing/insights/downloads/experton-study-2017.html>
- [25] LOUCKÝ, Milan. Když výrobek řídí výrobu, to je Průmysl 4.0 v praxi. *Konstruktér*. Brno: Nová média, s.r.o., 2016, 4(3), 16-17. ISSN 1805-8590.
- [26] *Industrie 4.0 in practice: Solutions for industrial applications*. Frankfurt, 2016. Dostupné také z: <http://hm.vdma.org/documents/10181/20674/Industrie40InPractice.pdf/36eeef92-5f7a-492c-97cc-277a901adc5c>
- [27] First Connected Industry line on-stream in daily production. In: *Bosch Rexroth* [online]. Homburg: Bosch Rexroth AG, 2014 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/trends-and-topics/industry-4-0/best-practices/multi-product-line-demonstrator/homburg-assembly-line/homburg-line>

- [28] Bosch is using Industry 4.0 to increase its competitiveness. In: *Bosch Media Service* [online]. Stuttgart: Corporate Communications, 2016 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-is-using-industry-4-0-to-increase-its-competitiveness-44805.html>
- [29] SANDERS, Adam, Chola ELANGESWARAN a Jens WULFSBERG. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management* [online]. 2016, 9(3), 811-833 [cit. 2017-04-02]. DOI: 10.3926/jiem.1940. ISSN 2013-0953. Dostupné z: <http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/1940>
- [30] NOWITZKY, Ingo. *Bosch Production System (BPS) and Industry 4.0: Guidelines for Implementation of Industry 4.0 within the framework of BPS*. Stuttgart, 2015.
- [31] PEITZKER, Stefanie. Lean production meets Industry 4.0. In: *Bosch ConnectedWorld Blog* [online]. Berlin: Bosch Software Innovations GmbH, 2016 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://blog.bosch-si.com/categories/manufacturing/2016/06/lean-meets-industry-4-0/>
- [32] *OpCon Info Servie.NET Results Data Module: User Manual*. Stuttgart, 2006.
- [33] KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV*. 4., přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-214-4858-2.
- [34] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté, rozšířené vydání. Praha: Portál, 2015. ISBN 978-80-262-0981-2.
- [35] JELÍNEK, Miloš a Otakar LÍKAŘ. TOLERANČNÍ MEZE PRO NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ. *Aplikace matematiky* [online]. 1960, 5(4), 239-246 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://dml.cz/dmlcz/102712>

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Skratka	Jednotka	Popis
3D	[-]	Trojrozmerný
APS	[-]	Audi Production System
BPS	[-]	Bosch Production System
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CIM	[-]	Computer Integrated Manufacturing
CP	[-]	Common-Rail Pump
CPS	[-]	Cyber-Physical Systems
CRI	[-]	Common-Rail injector
DMC	[-]	Datamatrix
DRV	[-]	Druck Bergrenzung Ventil
ERP	[-]	Enterprise Resource Planning
EWA	[-]	Elektronikwerk Amberg
FIFO	[-]	First in First Out
FPY	[%]	Fist Part Yield
FRL	[-]	Fuel Return Line
GMS	[-]	Global Manufacturing System
GPS	[-]	Gestamp Production System
HFR	[-]	Hot Forged Rial
LWR	[-]	Laser Welded Rail
MES	[-]	Manufacturing Execution System
OEE	[%]	Efektivita výroby
OIS.net	[-]	OpCon Info Service.net
PLC	[-]	Programmable Logic Controller
PLM	[-]	Product Lifetime Management
POT	[min]	Planned Operational Time
QR	[-]	Quick Response
RFID	[-]	Radio-Frequency Identification
SMED	[-]	Single Minute Exchange of Die
SPS	[-]	Scania Production System
TPM	[-]	Total Productive Maintenance

TPS	[-]	Toyota Production System
VPS	[-]	Volvo Production System

Symbol	Jednotka	Popis
CT_L	[s]	Takt linky
CT_n	[s]	Takt pracoviska výrobnej linky
CT_{OP}	[s]	Takt operácie
DEV_{MAX}	[ks]	Maximálna záporná kumulovaná odchýlka skutočného počtu piestov voči očakávanému počtu pre určenú triedu piestov
$F(x^*)$	[-]	Distribučná funkcia pravdepodobnosti normálneho rozdelenia
H_0	[-]	Nulová hypotéza
H_1	[-]	Alternatívna hypotéza
K	[ks]	Celkový počet kanbanových kariet
L_d	[mm]	Dolná medza tolerančného intervalu
L_h	[mm]	Horná medza tolerančného intervalu
LO	[ks]	Počet kariet potrebných pre pokrytie času tvorby výrobnej dávky
LS	[ks]	Lot Size- veľkosť výrobnej dávky
NPK	[ks]	Počet kusov kanbanu
PR	[ks]	Potreba kusov v stanovenej perióde
RE	[ks]	Počet kariet potrebných pre pokrytie času od roztriedenia 1 kanbanu piestov po rezerváciu 1 kanbanu
RT_1	[hod]	Doba od chvíle, kedy je roztriedený 1 kanban do chvíle kedy je aktualizovaný stav piestov na sklade
RT_2	[hod]	Doba čakania vo výrobnom sklze
RT_3	[hod]	Čas prípravy materiálu
RT_4	[hod]	Čas prestavenia stroja
RT_5	[hod]	Doba od prestavenia stroja po zarezervovanie piestov
RT_{LOOP}	[hod]	Čas od roztriedenia 1 kanbanu piestov po rezerváciu 1 kanbanu
$S(k)$	[-]	Kvantil Študentovho rozdelenia pre k stupňov voľnosti
SA	[ks]	Počet kariet potrebný pre vykrytie neplánovaných výkyvov v triedení
TT	[s]	Takt zákazníka
WI	[ks]	Počet kariet potrebný pre pokrytie plánovaných výkyvov v triedení

X	[-]	Náhodná veličina
f_j	[-]	Absolútna početnosť j-tej triedy
h	[-]	Dĺžka triedy
k	[-]	Počet stupňov voľnosti
k_7	[-]	Tolerančný koeficient pre normálne rozdelenie
m	[-]	Počet tried
m_d	[mm]	Dolná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty
m_h	[mm]	Horná medza konfidenčného intervalu strednej hodnoty
n	[-]	Rozsah štatistického súboru
p_j	[-]	Relatívna početnosť j-tej triedy
p_{Nj}	[-]	Pravdepodobnosť nastúpenia javu x_j
q	[-]	Počet odhadovaných parametrov hypotetického rozdelenia
s	[mm]	Bodový odhad smerodajnej odchýlky
t	[-]	Hodnota testovaného kritéria
t_p	[min]	Čas prestávky
t_{ps}	[min]	Čas pre predanie zmeny
$x_{(max)}$	[mm]	Horná hranica triedy
$x_{(min)}$	[mm]	Dolná hranica triedy
x_i	[-]	Jednotka štatistického súboru
x_j^*	[mm]	Stred j-tej triedy
z_N	[-]	Z-skóre
$\emptyset M3_P$	[mm]	Priemer piestu v rovine M3
$\emptyset(z_N)$	[-]	Hodnota distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia
$\emptyset M3_{CH}$	[mm]	Priemer hlavy v rovine M3
α	[-]	Hladina významnosti
μ	[mm]	Stredná hodnota priemeru
σ	[mm]	Smerodajná odchýlka
σ^2	[mm ²]	Rozptyl

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Schéma pracoviska obrábania hláv
Príloha 2	Schéma pracoviska triedenia piestov
Príloha 3	Sledovanie procesu honovania